



UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

DEPARTAMENTO DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICA

PROYECTO FINAL DE CARRERA

**DISEÑO DE SISTEMA DE CONTROL PARA COCHE
INTELIGENTE**

Autor: Pablo Belmonte Hernández

Tutor: Fernando García Fernández

INGENIERÍA INDUSTRIAL

LEGANÉS, MADRID

DICIEMBRE - 2009

A Mimi, que ha rezado mucho.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	V
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
Agradecimientos	XV
RESUMEN	XVII
Capítulo 1: Introducción.....	1
1.1 Objeto	1
1.2 Plataforma de investigación: iCab.....	2
Capítulo 2: Estado del arte	5
2.1 City Mobil	5
2.2 Proyecto Autopía	7
2.3 DARPA Grand Challenge	13
Capítulo 3: Material	25
Capítulo 4: Herramientas	27
4.1 Sistemas de coordenadas	27
4.1.1 Sistema de Coordenadas Geográficas	27
4.1.2 Proyección UTM	29
4.1.3 Paso de Coordenadas Geométricas a UTM	32
4.2 GPS	37
4.2.1 MTi-G	38
4.3 Brújula	48
4.4 Lógica Difusa	54
4.4.1 Funciones De Pertenencia	55
4.4.2 Operaciones con Conjuntos Difusos	57

4.4.3 Operaciones con Relaciones Borrosas	57
4.4.4 Reglas Difusas.....	58
4.4.5 Desdifusor	58
4.4.6 Caso Práctico.....	59
4.5 Láser	69
4.6 iCab	73
4.6.1 Hardware iCab.....	73
4.6.2 Comunicaciones del iCab con el ordenador.....	76
-COMANDOS DE LA UNIDAD DE DIRECCIÓN	78
-COMANDOS DE LA UNIDAD DE TRACCIÓN	88
Capítulo 5: Desarrollo.....	103
5.1 Descripción detallada del Sistema.....	103
5.2 Diagrama de Flujo	107
5.3 Explicación Diagrama de Flujo General	108
5.4 Manuales de las Clases	113
5.4.1 Manual Clase Utm.....	113
5.4.2 Manual de la Clase Coche	114
Capítulo 6: Aplicaciones	117
6.1 Control del iCab mediante el mando de la Wii	117
6.1.1 Mando de la Wii (wiimote).....	117
6.1.2 Conexión del mando al PC.....	119
6.1.3 Modos de funcionamiento	120
- MODO DE FUNCIONAMIENTO 1	120
-MODO DE FUNCIONAMIENTO 2.....	121
-MODO DE FUNCIONAMIENTO 3.....	122
-DIAGRAMA DE FLUJO	123
6.2 Control del iCab mediante teclado	129

6.3 Visor GPS	131
Capítulo 7: Conclusiones y trabajos futuros.....	133
Capítulo 8: Presupuesto	135
8.1 Presupuesto escuela	135
8.2 Presupuesto empresa	135
BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS.....	137

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diferencia en la salida del MTi-G al hacer 2 veces un recorrido parecido.....	2
Figura 2: Vehículo Ezgo	3
Figura 3: Heathrow PRT	6
Figura 4: Imagen de la pantalla táctil donde el usuario selecciona su destino.....	6
Figura 5: Vehículo utilizado en el proyecto autopía	7
Figura 6: Imagen de la pista de pruebas ZOCO.....	11
Figura 7: Vehículos finalistas DARPA Urban Challenge y plano del circuito	13
Figura 8: Uso de color en las señales	20
Figura 9: Sistema de coordenadas esféricas.....	27
Figura 10: Paralelos y meridianos. En rojo pueden verse el paralelo cero (ecuador) y el meridiano cero (Meridiano de Greenwich).....	28
Figura 11: Representación de un punto mediante coordenadas geográficas	29
Figura 12: ejemplo de distintas proyecciones planas. En ninguna de ellas se conservan todas las magnitudes que se midan sobre su plano	30
Figura 13: Proyección UTM (universal mercator), basada en la proyección de la superficie terrestre sobre un cilindro	31
Figura 14: Obtención de la distancia y el ángulo que forman dos puntos en proyección UTM. 32	
Figura 15: Plano de la Universidad Carlos III de Leganés. Extraída de Google Earth. Dimensiones: 2500x2500 pixeles, 400x400 metros.....	35
Figura 16: Plano de la Universidad Carlos III de Leganés. Extraída de Google Earth. Dimensiones: 2500x2500 pixeles, 400x400 metros. Imagen binaria con las zonas disponibles en blanco.....	36
Figura 17: Imagen del sistema Galileo	37
Figura 18: GPS MTi-G de Xsens y su antena.....	38
Figura 19: Esquema de la arquitectura del MTi-G de Xsens	39
Figura 20: Algoritmo del manejo de pérdidas de señal del MTi-G	41
Figura 21: Escenarios disponibles para el MTi-G. Sensores que usa en cada escenario	43
Figura 22: Coordenadas usadas por el MTi-G.	45
Figura 23: Orientación de los ejes de coordenadas del MTi-G	48
Figura 24: Ensayo 1. Trayectoria rectangular de 32 metros. Recorrida con giróscopo y brújula	50

Figura 25: Ensayo 2. Recorrido de unos 90 metros	51
Figura 26: Ensayo 3. Recorrido de 20 metros en un entorno con objetos metálicos.....	52
Figura 27: Ensayo 4. Recorrido recto de 40 metros.....	53
Figura 28: Diferencia entre la lógica difusa y la lógica clásica	54
Figura 29: Función de pertenencia triangular y sus ecuaciones	55
Figura 30: Función de pertenencia Gamma.....	55
Figura 31: Aproximación de la figura de pertenencia Gamma	56
Figura 32: Función de pertenencia Gaussiana	56
Figura 33: Función de pertenencia trapezoidal	56
Figura 34: Operación unión, intersección y complemento de conjuntos difusos	57
Figura 35: Operaciones AND y OR de relaciones borrosas	58
Figura 36: Esquema de un sistema de lógica difusa	59
Figura 37: Distancia a la que se encuentra el iCab del siguiente punto del recorrido. Clasificada en cerca, media, lejos.....	60
Figura 38: Ángulo que debe girar el iCab para alinearse con el siguiente punto del recorrido. Clasificada en 6 categorías	61
Figura 39: Velocidad de salida del iCab.....	61
Figura 40: Ángulo de giro de las ruedas del iCab	62
Figura 41: Representación 3-D de los valores de la velocidad de salida en función del ángulo y de la distancia de entrada	63
Figura 42: Representación 3-D de los valores del ángulo de giro de las ruedas función del ángulo y de la distancia de entrada	64
Figura 43: Para una distancia de 7 metros el iCab puede estar cerca con una probabilidad de 0.8 o distancia media con una probabilidad de 0.3	65
Figura 44: Para un ángulo de 10°, el iCab está a la izquierda con una probabilidad de 0.5.....	65
Figura 45: Aplicación de la primera regla que se activa	66
Figura 46: Aplicación de la segunda regla que se activa.....	66
Figura 47: Unión de los conjuntos 1 y 2.....	67
Figura 48: Cálculo del centroide de la figura 35, obteniendo así la velocidad de salida	67
Figura 49: Láser basado en la medida del tiempo de vuelo	69
Figura 50: Láser SICK LMS 291-S05	70
Figura 51: Detalle de la sujeción del láser	70
Figura 52: Detalle de la posición del láser en el iCab.....	71
Figura 53: Obstáculos detectados por el láser.....	72
Figura 54: Unidad de Tracción de iCab	73

Figura 55: Unidad de Dirección de iCab.....	74
Figura 56: Unidad de Comunicaciones del iCab.....	74
Figura 57: Esquema de bloques del iCab	75
Figura 58: Ubicación de las unidades y tendido eléctrico en el iCab.....	75
Figura 59: Distancia y ángulo entre 2 puntos	103
Figura 60: El objetivo del algoritmo es alinear el iCab con el siguiente punto	104
Figura 61: Sistema de lógica difusa. A partir de las variables de entrada distancia y ángulo se obtienen las variables de salida velocidad y ángulo de giro	104
Figura 62: Posición que devuelve el MTi-G al hacer dos veces un recorrido similar.....	105
Figura 63: Zonas de "peligro" del laser	106
Figura 64: Obtención de la trayectoria	108
Figura 65: Cálculo de la distancia y el ángulo. En verde posición actual y en naranja siguiente punto	108
Figura 66: Mapa de obstáculos obtenidos por el láser	109
Figura 67: Caso1. No se detectan obstáculos	109
Figura 68: Caso 2. Detección de obstáculo en zona derecha (D).....	110
Figura 69: Caso 3. Detección de obstáculo en la zona central (C)	110
Figura 70: Caso 4. Detección de obstáculo en zonas Derecha e Izquierda 1.....	111
Figura 71: Caso 5. Detección de obstáculo en zonas izquierda y derecha 2	111
Figura 72: Caso 6.Detección de obstáculo en zonas derecha e izquierda 3	112
Figura 73: Mando de la videoconsola Wii.....	118
Figura 74: Ejes y orientaciones del wiimote	119
Figura 75: Teclado PC. Teclas usadas para controlar el iCab	129
Figura 76: Imagen sacada de la aplicación visor donde se ven todos los puntos por los que ha pasado el iCab	131
Figura 77: Captura de una imagen sacada del programa visor.....	132

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1: Diagrama de flujo general	107
Diagrama 2: Diagrama de flujo de wiimote	123
Diagrama 3: Diagrama de flujo de wiimote	124
Diagrama 4: Diagrama de flujo de wiimote	125
Diagrama 5: Diagrama de flujo de wiimote	126
Diagrama 6: Diagrama de flujo de wiimote	127
Diagrama 7: Diagrama de flujo de wiimote	128
Diagrama 8: Diagrama de flujo del control por teclado	130

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Plataformas base utilizadas por los finalistas del DARPA Urban Challenge de 2007.....	14
Tabla 2: Colores en la señalización de seguridad.....	20
Tabla 3: Especificaciones del MTi-G.....	46
Tabla 4: Reglas aplicadas para la variable de salida velocidad	62
Tabla 5: Reglas aplicadas para la variable de salida ángulo.....	63
Tabla 6: Comando VER.....	78
Tabla 7: Comando VCL	78
Tabla 8: Comando LEN	78
Tabla 9: Comando JOY	79
Tabla 10: Comando ANG.....	79
Tabla 11: Comando VEL	79
Tabla 12: Comando VMX	80
Tabla 13: Comando LMV.....	80
Tabla 14: Comando MDZ	80
Tabla 15: Comando LDZ	81
Tabla 16: Comando ZMX.....	81
Tabla 17: Comando LZ.....	81
Tabla 18: Comando CEN.....	82
Tabla 19: Comando LCE	82
Tabla 20: Comando JOV	82
Tabla 21: Comando LJO	83
Tabla 22: Comando AMX	83
Tabla 23: Comando LAM.....	83
Tabla 24: Comando MKD	84
Tabla 25: Comando LKD	84
Tabla 26: Comando MKI.....	84
Tabla 27: Comando LKI	85
Tabla 28: Comando MKP.....	85
Tabla 29: Comando LKP	85
Tabla 30: Comando ERR.....	86

Tabla 31: Comando ROM	87
Tabla 32: Comando HLT	87
Tabla 33: Comando STT	87
Tabla 34: Comando desconocido	88
Tabla 35: Comando VER	88
Tabla 36: Comando CCK	88
Tabla 37: Comando CRK	89
Tabla 38: Comando CRI	90
Tabla 39: Comando CVM	91
Tabla 40: Comando CVA	92
Tabla 41: Comando CAM	93
Tabla 42: Comando CAA	94
Tabla 43: Comando CFT	95
Tabla 44: Comando OAC	96
Tabla 45: Comando OVL	97
Tabla 46: Comando OOV	98
Tabla 47: Comando OOE	98
Tabla 48: Comando OOE	99
Tabla 49: Comando OST	99
Tabla 50: Comando OFL	100
Tabla 51: Comando OBE	101
Tabla 52: Información enviada por el mando de la videoconsola de Nintendo Wii.....	117
Tabla 53: Manejo del iCab mediante el mando de la Wii en el modo de funcionamiento 1 ...	120
Tabla 54: Manejo del iCab mediante el mando de la Wii en el modo de funcionamiento 2 ...	121
Tabla 55: Manejo del iCab mediante el mando de la Wii en el modo de funcionamiento 3 ...	122
Tabla 56: Manejo del iCab mediante el teclado	129
Tabla 57: Presupuesto escuela	135
Tabla 58: Presupuesto empresa	136

Agradecimientos

En primer lugar, agradecer a Nando la cercanía y la libertad con la que he trabajado en este proyecto. También a Chechu, Gerardo y Gema que han estado ahí cuando el iCab no pasaba por sus mejores momentos.

A todos mis amigos que han hecho que la carrera sea divertida y con los que he pasado muy buenos ratos.

A mi familia que siempre ha estado a mi lado. En lo bueno y en lo malo.

A mi madre que ha hecho mucho por mí.

A Iria que ha vivido toda la carrera conmigo.

Gracias a todos he podido hacer lo que verdaderamente me gusta.

RESUMEN

El presente proyecto es parte del Proyecto iCab que se está desarrollando en la Universidad Carlos III de Madrid. El objetivo es desarrollar vehículos autónomos que puedan desenvolverse por el Campus de Leganés sin necesitar ningún tipo de ayuda humana en la conducción.

Se parte de un vehículo eléctrico comercial al que se le han realizado varias modificaciones para que pueda ser controlado por un PC, tanto la velocidad, como la aceleración, como el giro de las ruedas.

La primera parte del proyecto consiste en poder controlar el vehículo mediante un PC. En particular, se ha desarrollado el control mediante un mando inalámbrico y mediante el teclado de un PC.

La segunda parte busca que el vehículo pueda moverse de forma autónoma. Para ello se dispone de la información obtenida por un GPS, un láser y una brújula. Esta parte es bastante compleja y el presente proyecto será un primer acercamiento al movimiento autónomo del automóvil.

Capítulo 1:	Introducción
--------------------	---------------------

1.1 Objeto

El objetivo principal de este proyecto es que el iCab sea capaz de moverse de forma autónoma por el Campus de Leganés. Este proyecto será un primer paso al que le tendrán que seguir otros, ya que debido a la gran complejidad del proceso habrá que ir desmenuzándolo por partes e ir calibrando bien cada una de ellas para que el iCab llegue a moverse de forma autónoma y funcional en un entorno afectado por multitud de factores y de variables, sabiendo responder a cada uno de ellos de la forma más parecida posible a la que lo haría un ser humano.

La primera parte del proyecto consiste en desarrollar un software para poder controlar el iCab mediante un PC. Para ello se ha confeccionado una clase en C++ que mediante diferentes comandos enviados por puerto serie, permite controlar el iCab. Mediante esta clase se puede controlar la velocidad, aceleración, ángulo de giro de las ruedas, velocidad de giro de las ruedas, centro de las ruedas, obtener los errores, obtener la posición de las ruedas, la velocidad y otras funciones implementadas en el iCab.

Una vez desarrollada esta clase, se diseñó un software para poder conducir el iCab mediante un mando inalámbrico y mediante el teclado del PC.

Para la segunda parte, en un primer momento el planteamiento de este proyecto fue que el iCab fuera capaz de llegar de un punto a otro sabiendo la posición en la que se encuentra y la posición a la que debía llegar. Se desarrolló todo lo necesario, incluido el código para que se moviera de un punto a otro pero cuando se empezó a probar se vio que con el GPS disponible esto no era posible. El error que produce este es demasiado grande y muy variable (a veces es de 1 metro y otras de 20 metros) para poder guiarse exclusivamente con esta información. El iCab enseguida se desviaba de la trayectoria y había que detenerlo para que no colisionara. Con solo mejorar la precisión del GPS este mismo código podría cumplir su objetivo.

Para este proyecto se confeccionó un mapa del campus de Leganés en blanco y negro. En blanco están las zonas por las que puede moverse libremente el iCab y en negro las que no. Se presuponía que de momento no habría obstáculos en la zona “blanca”. El encontrarse obstáculos quedaría para más adelante y mediante el laser o cámaras se empezarían a reconocer y a actuar en consecuencia.

Viendo que con la información proporcionada por el GPS el coche no podría ir de un punto a otro sin alto riesgo de chocarse, se pensó en introducir el laser para evitar las colisiones con obstáculos o paredes. El GPS ahora serviría de guía aproximada y el laser evitaría choques y sería el sensor “principal”, ya que el iCab obedecerá antes al laser que al GPS.

El nuevo objetivo será intentar que el iCab vaya de una zona del campus a otra sin que haya muchos imprevistos de por medio. Esquivará obstáculos básicos y se detendrá si se ve rodeado. Estas zonas tendrán un radio de unos 15-20 metros ya que es el mayor error que se ha observado.

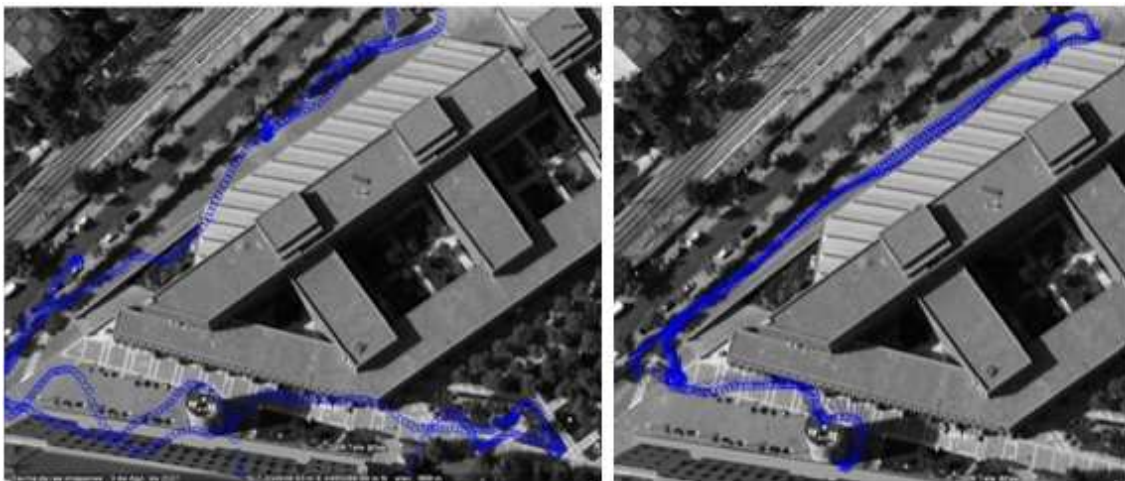


Figura 1: *Diferencia en la salida del MTi-G al hacer 2 veces un recorrido similar.*

1.2 Plataforma de investigación: iCab

El iCab es un automóvil eléctrico de la marca Ezgo, que dispone el Laboratorio de Sistemas Inteligentes. Ha sido adaptado para que se pueda controlar desde un PC. De

esta forma se pueden desarrollar multitud de aplicaciones en el, como manejo por control remoto, movimientos programados...

La plataforma, realizará actividades de transporte de personas y materiales en entornos urbanos preferentemente peatonales pero también viarios.

Los módulos que dispone actualmente el iCab son:

- Telémetro Láser de la marca SICK LMS 291-S05.
- Dispositivo GPS con acelerómetros, giróscopos, magnetómetros, barómetro y sensor de temperatura.

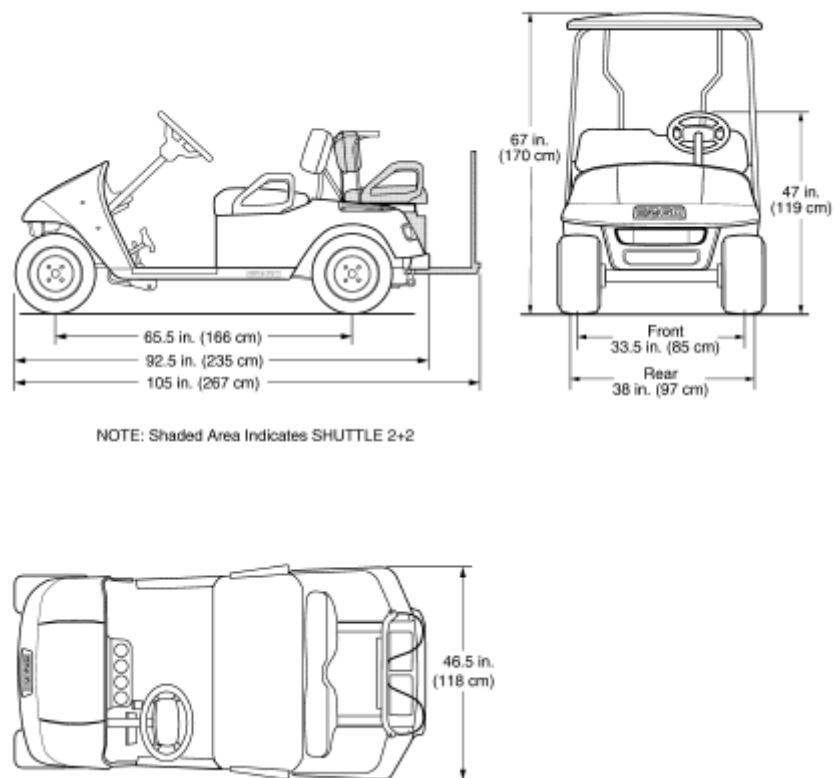


Figura 2: Vehículo Ezgo

Capítulo 2:	Estado del arte
--------------------	------------------------

2.1 City Mobil

CityMobil es un proyecto integral, cofinanciado por el 6º Programa Marco de la Unión Europea, desarrollado para ampliar el conocimiento sobre la integración de los sistemas de transporte automatizado en el medio urbano. Debido al gran volumen de vehículos y una gestión no eficiente de su movilidad surgen los problemas de tráfico que padecen las ciudades, sobre todo las grandes urbes. Y con ánimo de solucionar este actual problema nace CityMobil [1].

El objetivo principal de este proyecto es conseguir una organización más efectiva del transporte urbano y con ello, obtener también los siguientes resultados: menos congestión y polución; una conducción más segura; mayor calidad de vida, y mayor integración con el entorno.

En la actualidad, se desarrollan tres grandes “sub proyectos” en Europa, situados en Reino Unido, España e Italia, aunque la investigación en este campo se extiende a un total de once países europeos.

A continuación, breve desarrollo de las tres *demos* europeas:

- Reino Unido: **Heathrow PRT** (Personal Rapid Transit): El PRT es un sistema de transporte inteligente que puede trasladar hasta cuatro personas que acaban de bajar del avión en la Terminal 5 del aeropuerto londinense de Heathrow hasta los lugares de estacionamiento cercanos.



Figura 3: *Heathrow PRT*

Consta de un carril de 3,9 Km. de 2 m. de ancho, con dos vías paralelas a lo largo de casi toda su longitud. Funciona con baterías, requiere de carriles preferenciales; su velocidad máxima es de unos 40 kilómetros por hora, y puede circular por tramos cuya pendiente no puede superar el 10%. El pasajero determina el destino gracias a una pequeña pantalla táctil muy fácil de utilizar.



Figura 4: *Imagen de la pantalla táctil donde el usuario selecciona su destino*

Según sus creadores, el PRT es un modo de transporte de alta seguridad gracias a la implementación de tres fases. El pasado mes de julio, el proyecto fue probado y se espera que este otoño (2009) opere con normalidad.

Según se ha diseñado, habrá dos -de cuatro- paradas en el parking desde donde los pasajeros llamarán a un vehículo. En estos momentos, el único destino que ofrece este proyecto piloto de traslado de pasajeros es a la Terminal 5. Aunque se tiene previsto -si

el programa piloto tiene éxito – ampliar la cobertura del PRT a todo el lado norte del aeropuerto.

A día de hoy, y según la web del proyecto, las posibles soluciones en transporte, a medio plazo, serían la combinación equilibrada entre el transporte de alta capacidad (buses, trenes y metros), cuya ventaja es el aprovechamiento eficiente del espacio y de la energía, y los medios de transporte individual, que ofrecerá los vehículos innovadores ventajas en cuanto a flexibilidad y disponibilidad de adaptación a cada individuo.

2.2 Proyecto Autopía

El Ministerio de Ciencia y Innovación · Consejo Superior de Investigaciones Científicas está llevando a cabo este proyecto, que consiste en desarrollar vehículos sin conductor. Cuenta con bastantes medios y la última tecnología. La concepción es bastante parecida a la del iCab. Está basado en un DGPS y utiliza la lógica difusa [2].

El proyecto AUTOPIA pretende transferir las técnicas desarrolladas para el control de robots autónomos al control de vehículos, modificando en la menor medida posible el entorno en que éstos han de evolucionar. Se han realizado inicialmente experimentos simples que muestren los resultados que van obteniéndose y creado la infraestructura que permita llegar a hacer cada vez unas maniobras más sofisticadas.



Figura 5: Vehículo utilizado en el proyecto autopía

El computador que es la base del sistema de control embarcado en cada coche utiliza una estrategia de control basada en la lógica borrosa que permite simular el comportamiento de un chófer humano, siendo el objetivo del proyecto de encontrar un conjunto de estrategias que permitan construir un conductor automático capaz de realizar el mayor número de las maniobras más usuales. El sistema construido hasta ahora permite especificar un trayecto de la misma manera que le especificaríamos a un conductor humano, como una sucesión de calles; a partir de él, se generan una gama de referencias que son utilizadas por los controladores embarcados para, siguiendo unas determinadas estrategias descritas en lenguaje casi natural y con técnicas de control borroso, conseguir que el automóvil automático realice el trayecto.

El sistema de control de velocidad está basado en una tarjeta electrónica que genera una intensidad similar a la proporcionada por el pedal del acelerador al ser accionado, la velocidad alcanzada se mide con el velocímetro "standard" que posee el coche.

La dirección está servocontralada hidráulicamente, siendo necesario un par máximo de 5 Nm con el coche vacío para llevar el volante a un extremo, tres vueltas completas. Se ha acoplado un motor de 90 w al volante que es accionado por una tarjeta de control de motores KELVIN, que fue desarrollada en el IAI; el "encoder" del motor proporciona en todo momento su posición, aunque exige que al inicio de un experimento se realice un movimiento a uno de sus extremos donde existen un tope y un detector.

El único sensor externo que lleva el coche es un sistema de posicionamiento DGPS tipo Z-12 de ASTECH y una radio para recibir correcciones diferenciales de marca TRIMBLE, así el coche conoce su posición con una precisión cercana al centímetro. Se le acaba de incorporar un sistema de visión artificial realizado por la Universidad de Alcalá de Henares que reconoce la calzada y los obstáculos en ella situados.

Rocinante tiene una instrumentación ligeramente diferente, ya que en él se ha probado una red ETHERNET aérea que elimina la necesidad de la radio para transmitir las correcciones diferenciales y que se utiliza también para conocer las posiciones de los coches que están en las cercanías y recibir y enviar datos y programas; el sistema DGPS

que lleva embarcado es un TRIMBLE MS750, además el motor de control de volante alcanza mayor par y velocidad, también se ha instalado un controlador del freno.

Actualmente, todos los coches, excepto un C3, llevan un computador embarcado, al que se ha conectado un receptor GNSS y un equipo de comunicaciones. Dos de los receptores son GPS y el otro EGNOS, el antecedente de GALILEO.

SISTEMA BASADO EN LÓGICA DIFUSA

Ya en las primeras exposiciones de la teoría de conjuntos borrosos que estaba desarrollando, el Profesor Zadeh presentaba la conducción de vehículos, aparcamiento de coches, y el aterrizaje de aviones, como unas de las actividades humanas difíciles de modelar matemáticamente y por lo tanto también de ser realizadas por un controlador automático; el hecho de que un conductor o piloto pudiesen realizarlas, fue uno de los que le llevo a investigar la manera en la que los humanos somos capaces de tratarlos y a fundar las bases de la lógica borrosa, la teoría de los conjuntos borrosos y del control lingüístico.

La estrategia de control para mantener una velocidad constante definida con ORBEX, ordenador borroso experimental, está especificada con instrucciones tan sencillas como las siguientes:

- SI error en velocidad positivo Y aceleración MAYORQUE cero ENTONCES pedal levanta.
- SI error en velocidad cero Y aceleración MAYORQUE cero ENTONCES pedal levanta.
- SI error en velocidad positivo Y aceleración cero ENTONCES pedal levanta.
- SI error en velocidad negativo Y aceleración MENORQUE cero ENTONCES pedal pisa.
- SI error en velocidad cero Y aceleración MENORQUE cero ENTONCES pedal pisa.
- SI error en velocidad negativo Y aceleración cero ENTONCES pedal pisa.

Para mantener el coche en la línea central de la calle elegida se usan las reglas:

- SI cabeceo MAYORQUE cero Y deriva MAYORQUE cero ENTONCES volante derecha.
- SI cabeceo MAYORQUE cero Y deriva cero ENTONCES volante derecha
- SI cabeceo cero Y deriva cero ENTONCES volante derecha y las complementarias:
- SI cabeceo MENORQUE cero Y deriva MENORQUE cero ENTONCES volante izquierda.

CIRCUITO DE PRUEBAS

ZOCO es una pista de pruebas de vehículos automáticos que está dedicada exclusivamente a tareas de investigación, es decir, en ella no hay ningún otro tráfico de vehículos, lo que se ha hecho por seguridad. Tiene una forma reticulada, como las manzanas o cuadras de una ciudad, con alguna irregularidad, lo que es debido a que se han respetado todos los árboles, olivos, que había en el terreno en el que se ha construido, con calles de seis metros de ancho, para permitir doble circulación; está siendo provista de las señales de tráfico que se consideran oportunas, así como de los carteles de identificación con los nombres de las calles de las que consta, para ser utilizados en tareas de identificación.

También posee ZOCO una estación base de posicionamiento global diferencial basado en información geográfica de información vía satélite, DGPS, que puede ser utilizado por sistemas móviles embarcados en los coches para obtener su posición con una precisión superior al centímetro.

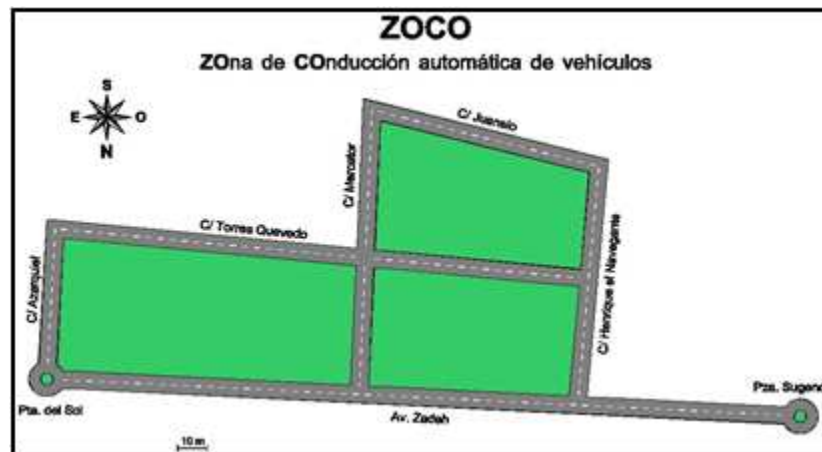


Figura 6: Imagen de la pista de pruebas ZOCO

El sistema DGPS es el modelo Z-Surveyor de la marca ASHTECH, pero también se han utilizado otros, ya que se piensa que en futuras aplicaciones no será necesaria tanta precisión, por ejemplo, utilizando un equipo AG132GPS de la marca TRIMBLE de doce canales con corrección diferencial directa a través de satélite RACAL que usa la estación base de Madrid, se obtuvieron las coordenadas geográficas de longitud, latitud y altura de los vértices de ZOCO que posteriormente se transformaron en coordenadas cartesianas locales en metros para ser utilizadas en las simulaciones. Los valores de dos de estas coordenadas son:

Puerta del Sol $40^{\circ} 18.76418'$ Norte $3^{\circ} 28.90881'$ Oeste 0.00 0.00

Plaza de Sugeno $40^{\circ} 18.77110'$ N $3^{\circ} 29.08616'$ O 251.59 -12.81

También existe una estación central de simulación sobre la que se prueban las estrategias, normalmente basadas en lógica borrosa, que luego son transferidas a los coches.

Las calles de ZOCO están identificadas con nombres de pioneros del control automático, de ESTE a OESTE, o de personajes históricos que realizaron aportaciones al arte de la navegación, de NORTE a SUR, estos nombres de calles nos permiten especificar los recorridos que han de hacer los coches de una manera simbólica, estos recorridos son transformados por un intérprete en un conjunto de maniobras elementales, evidentemente, el intérprete ha de poseer un mapa de ZOCO que ha sido levantado con las informaciones proporcionadas por el sistema DGPS.

Cada recorrido queda descrito por la sucesión de los nombres de las calles que debe recorrer y termina por el nombre seguido del número en el que debe parar. Las coordenadas que describen cada recorrido se generan teniendo en cuenta el método de conducción de Europa continental, es decir se circula por la derecha, lo que permite que en ZOCO, cuyas calles tienen seis metros de ancho, puedan circular coches por la misma calle en sentido contrario; por ejemplo, el recorrido:

Zadeh Mercator Torres Henrique Juanelo Mercato Torres Azarquiel Zadeh 20

Se supone que el coche está situado en la avenida Zadeh y que después de recorrer las calles en el orden citado deberá parar en el número 20 de la misma calle.

2.3 DARPA Grand Challenge

El DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) Grand Challenge es una competición de vehículos autónomos, que se celebra en Estados Unidos, los cuales deben ir de un punto de origen a otro de destino sin intervención humana, pasando por una serie de puntos intermedios de referencia. Esta competición surge pretendiendo incentivar el avance tecnológico en el mundo del automóvil y su aplicación futura en los SIT, así como en los vehículos militares del Departamento de Defensa de Estado Unidos [3].

El otro interés de los participantes es menos “científico” y más “crematístico”, es el reparto de premios ya que el ganador recibe dos millones de dólares, el segundo lugar un millón dólares y el tercero con 500.000 \$.

La primera edición se celebró en 2004 en el desierto del Mojave y ningún coche consiguió terminar. En la edición de 2005 varios vehículos lograron terminar el circuito, siendo el equipo de la Universidad de Stanford el ganador debido a un percance técnico del equipo de Carnegie Mellon University. La siguiente edición se celebró en 2007, cambiando el nombre por Urban Challenge ya que introducía un circuito urbano en el que los participantes deberían respetar las normas de tráfico y comportarse correctamente en presencia de tráfico.



Figura 7: Vehículos finalistas DARPA Urban Challenge y plano del circuito

En la Tabla 1 se muestran los participantes que alcanzaron la final y plataforma base utilizada por cada ellos.

Casi todos los participantes utilizan el GPS para el posicionamiento físico y diversas tecnologías para la orientación.

LAS REGLAS DE LA PLATAFORMA

En la reglamentación que debe cumplir la plataforma es primordial la seguridad de todas las personas que pueda encontrarse en sus proximidades, otros vehículos y objetos. Además, de modo resumido, todos los vehículos que participan en esta competición están sujetos a:

Comportamiento del vehículo. Durante la prueba deberá practicar un comportamiento autónomo pero se permite la tele-operación cuando no se esté realizando ninguna prueba.

Equipo	ID	Vehículo	Tipo	Posición
Tartan Racing	19	Boss	Chevy Tahoe	Primero
Standfor Racing	03	Junior	VolksWagen Passat Wagon	Segundo
Victor Tango	32	Odin	Ford Hybrid Escape 2005	Tercero
MIT	79	Talos	Land Rover LR3	Cuarto
The Ben Franklin Racin Team	74	Little Ben	Toyota Prius 2006	Finalizó
Cornell	26	Skynet	Chevy Tahoe 2007	Finalizó
CarOLO	62	Caroline	VolksWagen Passat Wagon	No Finalizó
HoneyWell Intelligent Vehicle Systems	15	XAV-250	Ford F-250	No Finalizó
Team Oshkosh Truck	21	TerraMax	US Maryne Corps	No Finalizó
Team UCF	13	Knight Rider	Subaru Legacy Out-track	No Finalizó
Team Annie Way	54	AnnieWay	VolksWagen Passat Wagon	No Finalizó

Tabla 1: Plataformas base utilizadas por los finalistas del DARPA Urban Challenge de 2007

DEFINICIÓN DE LA PLATAFORMA.

- Los vehículos deben estar sobre un chasis comercial o con documentación de que cumplen con seguridad.
 - El peso del vehículo debe estar entre 2000 y 30000 lbs (entre 900 y 13600 Kg), estando el vehículo descargado y con el depósito lleno.
 - La distancia entre ejes debe ser al menos de 72 pulgadas (1828 mm), será mayor de 9 fts (2740 mm) de ancho y 12 fts (3650 mm) de alto.
 - Debe ser capaz de avanzar y retroceder de modo autónomo y realizar un giro en “U” en entornos urbanos en menos de 30 fts (9190 mm).
 - Solo se permiten vehículos terrestres. Deben tener al menos cuatro neumáticos (no se permiten los guiados), y disponer de “bumpers” delanteros y traseros. Debe ser capaz de moverse sobre asfalto sin dañar la superficie del mismo.
 - Los ordenadores, el procesado y los sensores deben estar en el interior o sobre el mismo pero asegurando su fijación.
 - Está prohibido el uso de materiales y sustancias peligrosas y no se permite arrojar objetos fuera del vehículo. Tampoco está permitido generar “cortinas de humo”.
 - Debe poder cargarse la misión con un flash drive vía USB 2.0 y pasar de funcionamiento autónomo a manual en menos de 5 minutos.
- **Número de identificación del vehículo.** Un número claramente visible para identificar el vehículo de al menos 12 pulgadas (305 milímetros) de alto, situado en sus laterales, delante, detrás y encima.
 - **Seguridad del vehículo.** La organización comprobará la seguridad mínima y exigirá hoja de características y videos demostrativos.
 - **Energía radiada.** Básicamente se debe cumplir con la normativa que establece el Departamento de trabajo estadounidense relativas a seguridad y salud (OSHA - Occupational Safety and Health Administration).
 - Cumplir con las regulaciones locales, estatales y federales de seguridad de LASER (Standards-29CFR Nonionizing radiation - 1926.54. Evitar radiación directa especialmente a los ojos, potencia máxima de emisión, señalización, prohibición de su uso en caso de niebla, lluvia, nieve, etc).

- Cumplir con las regulaciones locales, estatales y federales de seguridad de RF (Standards-29CFR Nonionizing radiation - 1910.97. Evitar radiación directa, potencia máxima de emisión, señalización, etc).
- Cumplir con las regulaciones locales, estatales y federales de seguridad acústica (Standards-29CFR Occupational noise exposure - 1910.95. Evitar soportar altos niveles de presión acústica así como tiempo prolongado (relación entre Presión acústica y Tiempo de exposición diario), señalización, uso de EPI, etc).
- **Unidad de Parada de Emergencia (E-Stop).** La organización entrega esta Unidad que funciona vía radio “wireless”. Dispone de tres modos de funcionamiento:
 - E-Stop RUN. Modo que habilita el funcionamiento autónomo.
 - E-Stop PAUSE. Lleva al vehículo a un estado de parada con el sistema de frenos accionado, manteniendo el vehículo parado incluso en una pendiente. Debe estar preparado para pasar nuevamente al modo RUN.
 - E-Stop DISABLE. Detiene el vehículo y corta toda la propulsión mientras activa y mantiene el sistema de frenado.
- **Dispositivos de aviso.** El vehículo debe equiparse con un avisador acústico y luminoso.
 - El vehículo generará señal acústica cuando el vehículo esté en Modo RUN y éste no podrá ponerse en marcha hasta al menos cinco segundos después de generar la señal acústica. Esta señal será de al menos 85 dBA a 10 Ft (unos 3 metros) delante del vehículo. El sonido debe ser claramente distinguible y no puede confundirse con cualquier otro generado por el vehículo.
 - El vehículo generará una señal visual de color ámbar cuando el vehículo esté en Modo RUN o PAUSE. Esta señal será visible los 360 grados alrededor del vehículo y debe cumplir con la norma SAE Clase-1, ser claramente distinguible y no confundirse con cualquier otra generada por vehículos de seguridad pública (ambulancias, Bomberos, etc.).

En resumen:

- Modo E-Stop RUN: Alarma de audio sonando y luz de Warning encendida.
- Modo E-Stop PAUSE: Alarma de audio apagada y luz de Warning encendida.
- Modo E-Stop DISABLE: Alarma de audio apagada y luz de Warning apagada.

LA NORMATIVA EN EUROPA / ESPAÑA

Es evidente que al realizarse la competición en los Estados Unidos, son las normas estatales que rigen en dicho país las que deben aplicarse, pero si la competición se realizase en Europa, y más concretamente en España, las normas deberían ser otras. Así cuando se definiese la plataforma se deberían tomar las Directivas Europeas publicadas y definir los límites basándose en estas. Estas directivas, en España, se encuentran recogidas en el Real Decreto 2.822/1.998 donde se presenta el “Reglamento general de vehículos” (BOE, 2009). Para declarar el vehículo existen varios criterios, así:

- Según el criterio de construcción, se puede definir el tipo de vehículo como:
 - Turismo: vehículo de cuatro ruedas dedicado al transporte personas, y de hasta 9 plazas.
 - Camión: vehículo de cuatro ruedas o más, dedicado al transporte de mercancía. Existen 3 tipos en función de su Masa Máxima Admisible (MMA): $MMA < 3500$, $3500 < MMA < 12500$ y $12500 < MMA$.
 - Furgón / Furgoneta: vehículo de cuatro ruedas, dedicado al transporte de mercancía y cabina integrada en carrocería.
 - Autobús: vehículo de cuatro ruedas o más dedicado al transporte personas y sus equipajes y con más de 9 plazas.
- Según el criterio de utilización, el Reglamento define casi 80 posibles usos y ninguno de ellos correspondería inequívocamente algún caso similar a este, por tanto sólo sería posible definirlo como: “00 Ninguno”.
- Declaración del vehículo. En la ficha técnica de todos los vehículos se comienza por definir el mismo, así debería declarar “vehículo especial”. Ya que:
 - Vehículo especial: Se sale de las definiciones y los límites.

Una vez identificado y declarado el vehículo se deberían buscar los límites del mismo, así:

- Peso: una clasificación sencilla y sin entrar en detalle de la distancia entre los ejes de un tandem o un tandem triaxial puede ser:

- La MMA de un turismo, en general, no excederá de 3,5 toneladas.
 - La MMA del eje motor no excederá de 11,5 toneladas.
 - La MMA del eje no motor no excederá de 10 toneladas.
 - La MMA de un eje tándem no excederá de 18 toneladas.
 - La MMA de un eje tándem triaxial no excederá de 24 toneladas.
-
- Alto: incluida la carga, no excederá de 4000 milímetros.
 - Ancho: como regla general no excederá de 2550 milímetros.
 - Largo: en un vehículo rígido de motor, independientemente del número de ejes su longitud máxima no excederá de 12.000 milímetros.

En la competición, el límite de Energía Radiada lo establece la normativa del Departamento de trabajo estadounidense relativas a seguridad y salud (OSHA - Occupational Safety and Health Administration). El equivalente en España es el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INHST) (BOE, 2009).

Siguiendo la normativa que éste establece:

- Debería cumplir con la reglamentación exigible a “Radiaciones no ionizantes”, que establece la Directiva Europea 1.999/519/CE y que en España queda recogida en el R.D. 1.066/2.001. Estas radiaciones cubren el rango de 0 Hz a 3000 THz, clasificándose estas frecuencias en los siguientes intervalos:
 - Campos eléctricos y magnéticos estáticos (imanes, conductores eléctricos de corriente continua, etc.).
 - Ondas electromagnéticas de Extremadamente Baja Frecuencia. El intervalo de frecuencias alcanza hasta 3 kHz (líneas eléctricas de corriente alterna). Respecto a los Campos eléctricos y magnéticos estáticos y Ondas electromagnéticas de Extremadamente Baja Frecuencia, se sabe que pueden tener efectos nocivos en el sistema nervioso y cardiovascular. Se discute en la actualidad la fiabilidad de ciertos estudios que otorgan la capacidad de producir ciertos tipos de cáncer a las radiaciones de Extremadamente Baja Frecuencia, pero las restricciones que actualmente se aplican a este tipo de radiaciones no tienen en cuenta por ahora dichos efectos.

- Ondas electromagnéticas de Muy Baja Frecuencia. El intervalo de frecuencias es de 3 a 30 KHz (algunas máquinas de soldadura por inducción).
- Ondas electromagnéticas de Radio Frecuencia (RF). El intervalo de frecuencias es de 30 KHz a 1 GHz (ultrasonidos, ondas de radio y televisión, soldadura de plásticos, etc.).
- Microondas. Ondas electromagnéticas entre 1 y 300 GHz (hornos de microondas, telefonía móvil, etc.). Las microondas son especialmente peligrosas por los efectos sobre la salud derivados de la gran capacidad de calentamiento que poseen, al potenciarse su acción cuando inciden sobre las moléculas de agua que forman parte de los tejidos. Con menor facilidad logran el efecto de calentamiento de los tejidos las ondas electromagnéticas correspondientes a la Radio Frecuencia y Muy Baja Frecuencia.
- Infrarrojos (IR). Ondas electromagnéticas entre 300 GHz y 385 THz (lámparas de infrarrojos, material candente, etc.).
- Luz visible. Ondas electromagnéticas entre 385 y 750 THz (iluminación general).
- Ultravioleta (UV) no ionizante. Ondas electromagnéticas entre 750 y 3000 THz (lámparas solares, lámparas de detección de taras, lámparas de insolación industrial, etc.).
- Referidas al uso del LASER, se establece la normativa de seguridad según la norma UNE/EN60825-1:1.996, UNE-EN60825-1/A2:2002, complementadas con las referidas a protecciones de los ojos por el uso de filtros UNE-EN207:1.999 y de gafas UNE-EN208:1.999. La radiación Láser consiste en un haz direccional de radiación visible, ultravioleta o infrarroja, diferenciándose de ésta en que su emisión corresponde a una frecuencia muy concreta (dentro de la banda correspondiente) y no a una mezcla de varias, como ocurre cuando se habla de una Radiación visible, UV o IR. Debería cumplir con la reglamentación exigible a la “Protección frente al ruido”, que establece la Directiva Europea 2.003/10/CE y que en España quedaba recogida en el R.D. 1.316/1.989, que fue actualizado con posterioridad en el R.D.286/2.006. En este se recogen, entre otros, los niveles de presión acústica frente al tiempo de exposición.

- Debería cumplir con la reglamentación exigible a la “Señalización de seguridad y salud”, que establece la Directiva Europea 1.992/58/CE y que en España quedaba recogida en el R.D. 485/1.997. Por último notar que en este Real Decreto también se recoge, entre otras, en su Anexo IV las Características y Requisitos de las señales luminosas y acústicas. En la Figura 8, a modo de ejemplo, se muestran algunas señales con el uso de distintos colores asociados al significado que ofrecen.



Figura 8: *Uso de color en las señales*

- De modo general debería cumplir con la reglamentación exigible a la “Seguridad de máquinas”, que establece la Directiva Europea 1.989/392/CE y que en España quedaba recogida en el R.D. 1.435/1.992 y modificado en EL R.D. 56/1.995 para su comercialización y en R.D. 1.215/1.997 para su utilización.

Color	Color de Contraste	Significado	Indicaciones y precisiones
Rojo	Blanco	Señal de prohibición	Comportamientos peligrosos.
		Peligro Alarma	Alto, parada, dispositivo de parada de emergencia. Evacuación.
		Material y equipos de lucha contra incendios	Identificación y localización
Amarillo o Amarillo anaranjado	Negro	Señal de advertencia	Atención, precaución. Verificación.
Azul	Blanco	Señal de obligación	Comportamiento o acción específica. Obligación de utilizar equipo.
Verde	Blanco	Señal de salvamento o auxilio	Puertas, salidas, pasajes, material, puestos de salvamento o de socorro.
		Situación de seguridad	Vuelta a la normalidad

Tabla 2: *Colores en la señalización de seguridad*

Resulta especialmente llamativo que en las reglas sólo aparecen requerimientos de seguridad y no se hace mención a otras normativas, como por ejemplo, de seguridad eléctrica/electrónica o compatibilidad electromagnética (IEC, 2009). Así, entre otros:

- Debería cumplir, de modo general, con el “Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión”, que fue aprobado en el año 2.002 (R.D. 842/2.002).
- Debería cumplir con la normativa de “Compatibilidad Electromagnética”, que establece la Directiva Europea 1.989/336/CE y que es de obligado cumplimiento desde el 1 de Octubre de 1.996. En esta se establece una serie de normativas de ensayo para comprobar el correcto funcionamiento y entre las cuales se pueden mencionar (AENOR, 2009):
 - EN55022 de Emisión Radiada y Emisión conducida.
 - EN61000-4-2 de Descarga electrostática (ESD).
 - EN61000-4-3 de Inmunidad radiada.
 - EN61000-4-6 de Inmunidad conducida.
- Debería cumplir, de modo general, con la reglamentación referida a material eléctrico y electrónico a bordo de un vehículo, pudiendo mencionar entre otras algunas normas como (AENOR, 2009):
 - ISO 7588-1/1.998: Para vehículos. Dispositivos de conmutación eléctricos/electrónicos: Parte I: Relés e intermitentes (Publicación 15/7/08).
 - UNE 26299-1/2.003: Para vehículos de carretera. Dispositivos de conmutación eléctricos/electrónicos: Parte I: Relés y centrales de intermitencia (Publicación 25/7/03).
 - ISO 7588-2/1.998: Para vehículos de carretera. Dispositivos de conmutación eléctricos/electrónicos: Parte II: Dispositivos electrónicos (Publicación 25/7/03).
 - UNE26299-2/2003: Para vehículos de carretera. Dispositivos de conmutación eléctricos/electrónicos: Parte II: Dispositivos electrónicos (Publicación 25/7/03).
 - UNE26299-2/2004 (ERRATUM): Para vehículos de carretera. Dispositivos de conmutación eléctricos/electrónicos: Parte II: Dispositivos electrónicos (Publicación 24/12/04).
 - ISO 7588-3/1.998: Para vehículos de carretera. Dispositivos de conmutación eléctricos/electrónicos: Parte III: Micro-relés (Publicación 15/7/08).

- UNE26299-3/2003: Para vehículos de carretera. Dispositivos de conmutación eléctricos/electrónicos: Parte III: Micro-relés (Publicación 25/7/03).
- UNE26299-3/2004 (ERRATUM): Para vehículos de carretera. Dispositivos de conmutación eléctricos/electrónicos: Parte III: Micro-relés (Publicación 25/6/04).
- ISO 8092-2/2.005: Conexiones para cableado de alumbrado eléctrico a bordo: Parte II: Definiciones, métodos de prueba y exigencias de funcionamiento en general (Publicación 18/11/05).
- ISO 10.483-1/2.008: Para vehículos de carretera. Interruptores de potencia inteligentes - Parte 1: Lado del suministro (Publicación 6/3/08).
- ISO 10.483-2/2.008: Para vehículos de carretera. Interruptores de potencia inteligentes - Parte 2: Lado de la carga (Publicación 6/3/08).
- EN60947-5-1/2.003: Aparata de baja tensión - Parte 5-1: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Aparatos electromecánicos para circuitos de mando (Publicación Oct/2.003).
- EN60947-5-3/1.999: Aparata de baja tensión - Parte 5-3: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Requisitos para dispositivos de detección de proximidad con comportamiento definido en condiciones de defecto (Publicación Mar/1.999).
- EN60947-5-5/1.997: Aparata de baja tensión - Parte 5-5: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Aparato de parada de emergencia eléctrica con enclavamiento mecánico (Publicación Nov/1.997).
- EN60947-5-6/1.999: Aparata de baja tensión - Parte 5-6: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Interfaz de corriente continua para sensores de proximidad y amplificadores de conmutación (Publicación Dic/1.999).
- EN60947-5-7/2.003: Aparata de baja tensión - Parte 5-7: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Requisitos para detectores de proximidad con salida analógica (Publicación Jun/2.003).
- EN60947-5-8/2.006: Aparata de baja tensión - Parte 5-8: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Interruptores de mando de validación de tres posiciones (Publicación Dic/2.006).

- EN60947-5-9/2.006: Aparata de baja tensión - Parte 5-9: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Detectores de caudal (Publicación Dic/2.006).

Capítulo 3: Material

El material empleado para el desarrollo del siguiente proyecto ha sido:

- Láser SICK
- GPS MTi-G
- Mando de la videoconsola Wii
- Adaptador de bluetooth
- Portátil Hp (posteriormente será sustituido por un MAC)

Capítulo 4: Herramientas

Para el desarrollo del presente proyecto, ha sido necesario el estudio de diferentes áreas. Se va a detallar lo que se ha considerado más importante a la hora de elaboración del mismo. Es la base en la que se han sustentado los cálculos en los que se basará el resto del proyecto.

4.1 Sistemas de coordenadas

Un sistema de coordenadas es un conjunto de valores que permiten definir la posición de cualquier punto de un espacio vectorial. Para localizar un punto sobre la superficie terrestre tenemos disponibles diversos sistemas de coordenadas [4]. A lo largo de este proyecto se han usado 3 sistemas de coordenadas diferentes:

- Sistema de coordenadas geográficas
- UTM
- Sistema de coordenadas cartesianas local.

4.1.1 Sistema de Coordenadas Geográficas

Las coordenadas geográficas son una forma de designar un punto de la superficie terrestre. Para ello usa dos medidas angulares y una altura [5]. De esta manera cada conjunto de coordenadas corresponde únicamente a un punto de la superficie terrestre

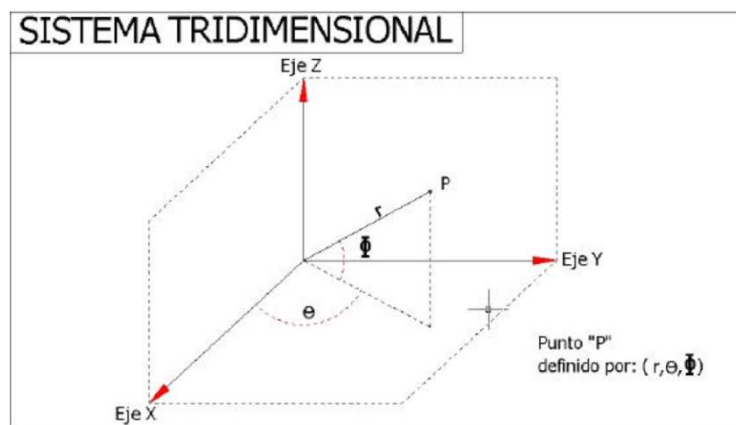


Figura 9: Sistema de coordenadas esféricas

Como se puede observar en la figura 9 el punto P viene dado por 3 coordenadas: latitud (ϕ), longitud (θ) y altitud (r).

Para elegir un origen de coordenadas se divide la superficie terrestre en paralelos y meridianos. Cogiendo como eje de la tierra una recta imaginaria que va de Polo Norte a Polo sur, se definen los meridianos como las líneas de intersección de la tierra con los infinitos planos que contienen al eje. Se toma como origen (meridiano 0°) al meridiano que pasa por la ciudad inglesa de Greenwich. El globo queda dividido en dos zonas: las situadas al oeste del meridiano de Greenwich (W) y las situadas al este (E).

Los paralelos son las líneas de intersección de los infinitos planos que son perpendiculares al eje terrestre con la superficie de la Tierra. El paralelo 0° llamado ecuador es el paralelo de mayor radio. Este paralelo divide a la Tierra en dos hemisferios: Hemisferio Norte y Hemisferio Sur.



Figura 10: Paralelos y meridianos. En rojo pueden verse el paralelo cero (ecuador) y el meridiano cero (Meridiano de Greenwich)

La Latitud Geográfica de un punto es el ángulo comprendido entre el ecuador y la vertical, siendo la vertical la unión de dicho punto con el centro de la tierra (w en la figura 3). La latitud varía entre 0° y 90° N y 0° - 90° S.

La Longitud geográfica es el ángulo que forma el meridiano de Greenwich con el meridiano que pasa por el punto (landa en la figura). La longitud varia de 0 a 180° E y 0-180°W.

En la figura3 se puede ver el punto P representado por su latitud ($42^{\circ} 21' 30''$ N) y longitud ($71^{\circ} 03' 27''$ E)

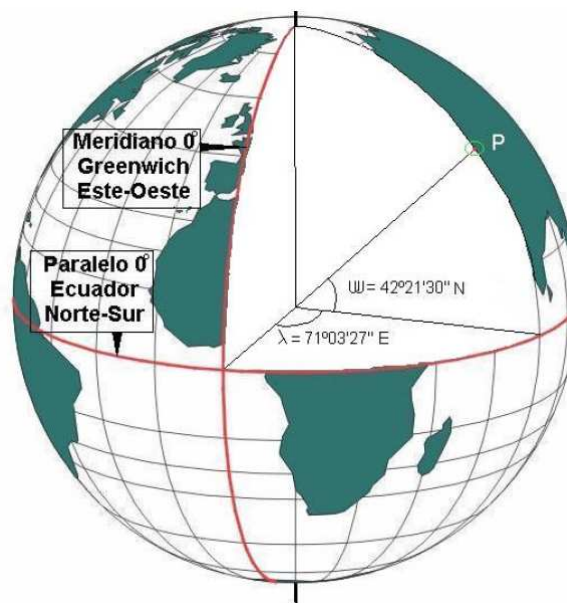


Figura 11: Representación de un punto mediante coordenadas geográficas

El GPS Mti de Xsens nos da los datos en coordenadas geográficas. La latitud está comprendida entre -90 y 90° (negativos para el sur). La longitud va de -180° a 180° (negativas para el oeste).

El problema que tenemos es que hallar distancias y direcciones es complicado con estas coordenadas ya que no tenemos una superficie plana. Para solucionar este problema se ha recurrido a la proyección UTM

4.1.2 Proyección UTM

Se puede representar la superficie terrestre mediante diferentes proyecciones. Al ser la tierra un elipsoide aproximadamente, al representar su superficie en un plano sufre deformaciones. Las distintas proyecciones intentan minimizar estas distorsiones. En

unas proyecciones se conserva la superficie, en otra las distancias, ángulos, etc. No pudiéndose conservar todas ellas a la vez en ninguna proyección.

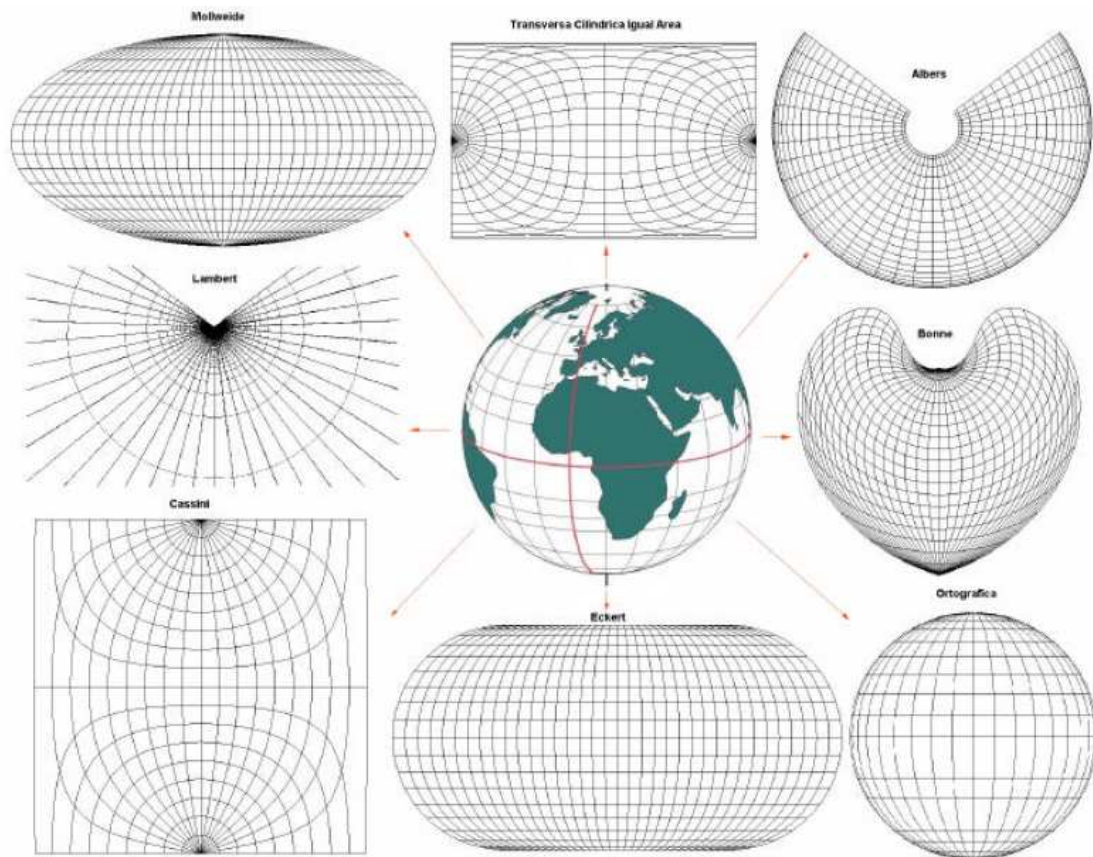


Figura 12: ejemplo de distintas proyecciones planas. En ninguna de ellas se conservan todas las magnitudes que se midan sobre su plano

En la proyección UTM (universal mercator) se conservan los ángulos, es decir, si medimos el ángulo que forma la línea que une 2 puntos con el norte en el plano y sobre la superficie terrestre coincide [6].

Esta proyección es de uso habitual desde que la estandarizó el Servicio de Defensa de Estados Unidos en la década de los 40.

La proyección UTM es una proyección cilíndrica. Crea una red que hace que tanto paralelos como meridianos formen una cuadrícula ortogonal. Emplea husos de 6°. Un huso son todas las posiciones geográficas comprendidas entre 2 meridianos. El origen de coordenadas es diferente para cada uso.

Las ventajas del sistema UTM son:

- Conservación de los ángulos
- No distorsiona las superficies por debajo de los 80° de latitud.
- Facilidad para calcular distancias y ángulo entre 2 puntos.

Para que un punto quede definido deben darse los siguientes datos:

X=432.145m Zona T

Y=4.234.234m Huso 30 Datum: ED50

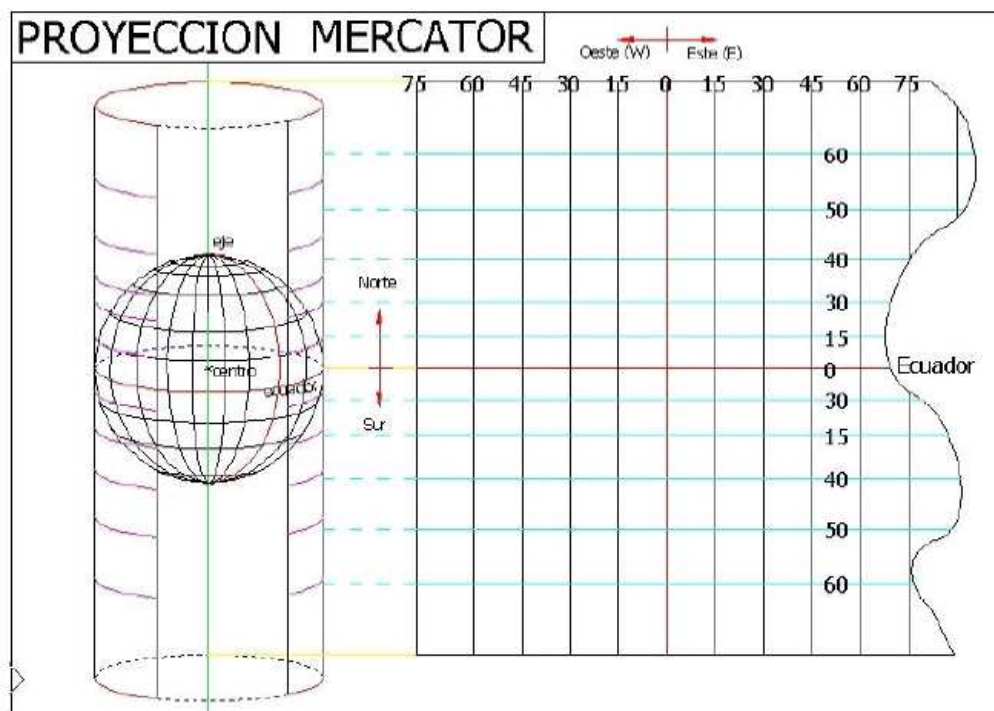


Figura 13: *Proyección UTM, (universal mercator) basada en la proyección de la superficie terrestre sobre un cilindro*

Con la proyección UTM se puede trabajar como con las coordenadas cartesianas. Para hallar la distancia y el ángulo entre 2 puntos se emplea trigonometría directamente. Dados P(a,b) y Q(c,d):

Distancia entre P y Q:

$$d = \sqrt{(a - c)^2 + (b - d)^2}$$

Ángulo:

$$\alpha = \arctg\left(\frac{a - c}{b - d}\right)$$

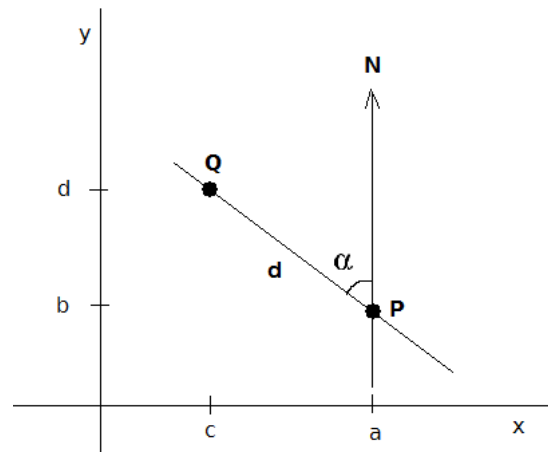


Figura 14: Obtención de la distancia y el ángulo que forman dos puntos en proyección UTM

4.1.3 Paso de Coordenadas Geométricas a UTM

Para pasar coordenadas geográficas a UTM existen diversos procedimientos. Ningún método es exacto pero cada vez se tienen mejores precisiones. Los más utilizados son:

- Tablas de proyección UTM incluidas en la publicación: Proyección Universal Transversa Mercator, de Servicio Geográfico del Ejército de España.
- Fórmulas de transformación directa del US Army, publicadas el 1973.
- Fórmulas de Coticchia-Surace. Estas han sido las elegidas ya que son sencillas de implementar y se obtiene una buena precisión, cercana al centímetro si se usan suficientes decimales.

CONVERSION DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS A UTM MEDIANTE LAS FÓRMULAS DE COTICCHIA-SURACE [7]

Partimos de un punto dado en coordenadas geográficas (latitud, longitud). Para modelar el globo terráqueo hay diferentes elipsoides en los que varían algo los distintos parámetros como los semiejes mayor y menor. Nosotros escogemos el elipsoide WGS84, ya que es con el que trabaja nuestro GPS MTi-G de XSens.

El signo de la longitud viene dado por la siguiente regla: Si está referida al oeste (O) del meridiano de Greenwich tiene signo negativo. Si está referida al este, será positivo.

Semieje mayor(a)=6378137.0

Semieje menor (b)=6356752.314245

Excentricidad: $e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$

Segunda excentricidad: $e' = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{b}$

Radio Polar de Curvatura: $c = \frac{a^2}{b}$

Aplanamiento: $\alpha = \frac{a-b}{a}$

Huso: entero de $\left[\frac{\text{grados decimales}}{6} + 31\right]$

Meridiano central del huso: $\lambda_0 = Huso * 6 - 183$

$\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$ Siendo λ la longitud en radianes y λ_0 también en radianes.

Parámetros:

$$A = \cos\varphi * \sin(\Delta\lambda)$$

$$\xi = \frac{1}{2} * \ln \left(\frac{1 + A}{1 - A} \right)$$

$$\eta = \operatorname{atan}\left(\frac{\tan\varphi}{\cos\Delta\lambda}\right) - \varphi$$

$$v = \frac{c}{(1 + e'^2 \cdot \cos^2\varphi)^{1/2}}$$

$$\zeta = \frac{e'^2}{2} \cdot \xi^2 \cdot \cos^2\varphi$$

$$A_1 = \sin(2 \cdot \varphi)$$

$$A_2 = A_1 \cdot \cos^2\varphi$$

$$J_2 = \varphi + \frac{A_1}{2}$$

$$J_4 = \frac{3 \cdot J_2 + A_2}{4}$$

$$J_6 = \frac{5 \cdot J_4 + A_2 \cdot \cos^2 \varphi}{3}$$

$$\alpha = \frac{3}{4} \cdot e'^2$$

$$\beta = \frac{5}{3} \cdot \alpha^2$$

$$\gamma = \frac{35}{27} \cdot \alpha^3$$

$$B_\phi = 0.9996 \cdot c \cdot (\varphi - \alpha \cdot J_2 + \beta \cdot J_4 - \gamma \cdot J_6)$$

Finalmente se obtienen las coordenadas X e Y del punto en coordenadas UTM.

$$X = \xi \cdot v \cdot \left(1 + \frac{\zeta}{3}\right) + 500000$$

$$Y = \eta \cdot \gamma \cdot (1 + \zeta) + B_\phi$$

4.1.4 Sistema de Coordenadas cartesianas local

El último sistema de coordenadas usado es el de la imagen del plano de la Universidad Carlos III de Madrid. El plano se ha sacado de Google Earth. Para que su resolución fuera buena se ha capturado por partes, uniéndolas a continuación con un programa de edición de imagen. El plano final es una imagen de 2500x2500 píxeles. Ocupa una superficie de 400x400 metros. Por tanto tiene una resolución de 0.16 m/píxel, es decir, cada metro tiene 8 píxeles.



Figura 15: Plano de la Universidad Carlos III de Leganés. Extraída de Google Earth.
Dimensiones: 2500x2500 píxeles, 400x400 metros.

Por último se ha hecho un cambio de coordenadas para que coincidas las coordenadas Utm con las de la imagen. Para ello basta con hacer una translación. Se cogen las coordenadas Utm del punto central de la imagen. $P_C = (434964.0, 4464963.7)$. Para saber qué coordenada Utm corresponde a cada pixel se usa la siguiente fórmula:

$$X_{UTM} = x_{pixel} \cdot 0.16 + x_0 \rightarrow X_{UTM} = x_{pixel} \cdot 0.16 + 434964.0$$

$$Y_{UTM} = y_{pixel} \cdot 0.16 + y_0 \rightarrow Y_{UTM} = y_{pixel} \cdot 0.16 + 4464963.7$$

Coordenadas suponiendo que el centro de la imagen es el pixel (0,0). Si cogemos como pixel (0,0) el de la esquina superior izquierda o inferior izquierda habría que añadir o restar 1250 que es la medida de media imagen.

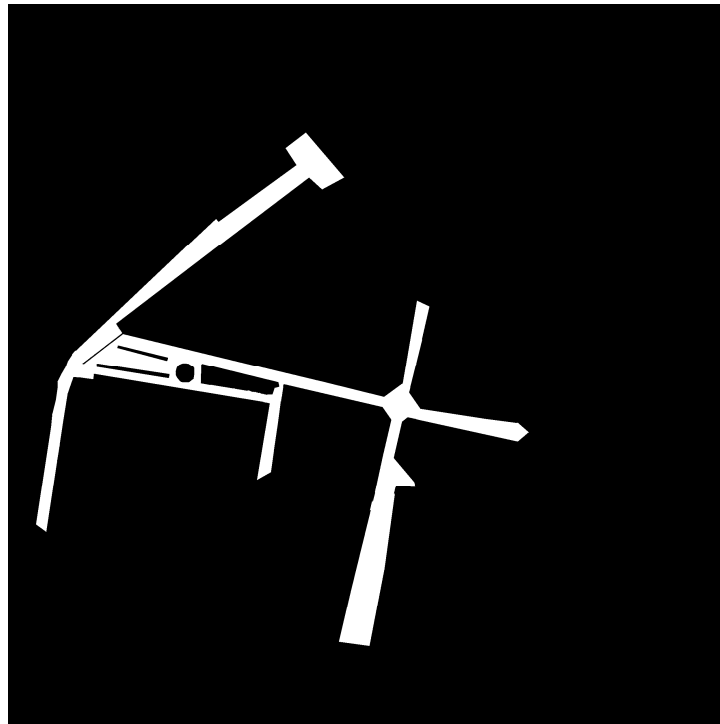


Figura 16: Plano de la Universidad Carlos III de Leganés. Extraída de Google Earth. Dimensiones: 2500x2500 pixeles, 400x400 metros. Imagen binaria con las zonas disponibles en blanco

4.2 GPS

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) se comienza a desarrollar durante la guerra fría por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, pero hasta la década de los noventa no comienza a dar servicio. Estaba basado en 21 satélites operativos y tres de reserva. Aunque fue desarrollado para aplicaciones militares, también daba servicio a aplicaciones civiles, pero generando un error aleatorio que podrá llegar hasta ciento cincuenta metros. A esto se le denominaba “disponibilidad selectiva”. En la actualidad este error no se genera y se logran precisiones que se aproximan al centímetro usando los dispositivos DGPS.

Conocer nuestra posición se logra mediante una medición de nuestra distancia hacia al menos tres satélites, lo que nos permite "triangular" nuestra posición en cualquier parte de la tierra [8].

Actualmente se está desarrollando en Europa el Sistema Global de navegación por satélite Galileo, que será de uso civil. En principio iba a estar disponible para el año 2008 pero debido a diversos problemas no estará disponible hasta el 2013 si todo va bien [9], [10], [11][].



Figura 17: *Imagen del sistema Galileo*

Consta de una constelación de 30 satélites divididos en tres orbitas circulares a una altitud de 23000 km. Tendrá más precisión que el actual GPS, siendo el error de unos pocos de metros sin corrección diferencial (DGPS). También mejorará mucho la precisión en las latitudes altas, algo que el actual sistema GPS tiene bastantes limitaciones.

4.2.1 MTi-G

El GPS usado es un MTi-G de Xsens [12]. Además del GPS cuenta con sensores inerciales, acelerómetros, giróscopos, sensor de presión y magnetómetros integrados en el dispositivo. Está preparado para recibir la señal del Galileo cuando este entre en servicio.



Figura 18: GPS MTi-G de Xsens y su antena

CARACTERÍSTICAS

- Cálculo en tiempo real de la posición y velocidad mejorada por su DSP integrado.
- Receptor de GPS de 50 canales
- Compatible con el sistema Galileo-L1
- Orientación de 360° en 3D
- Aceleración 3D
- Velocidad de giro 3D
- Campo magnético 3D
- Sensor de presión (barómetro)
- Alta velocidad de refresco (100Hz usando el DSP, 512Hz usando solo los sensores inerciales)

- Diseño compacto
- Bajo peso
- Consumo muy bajo

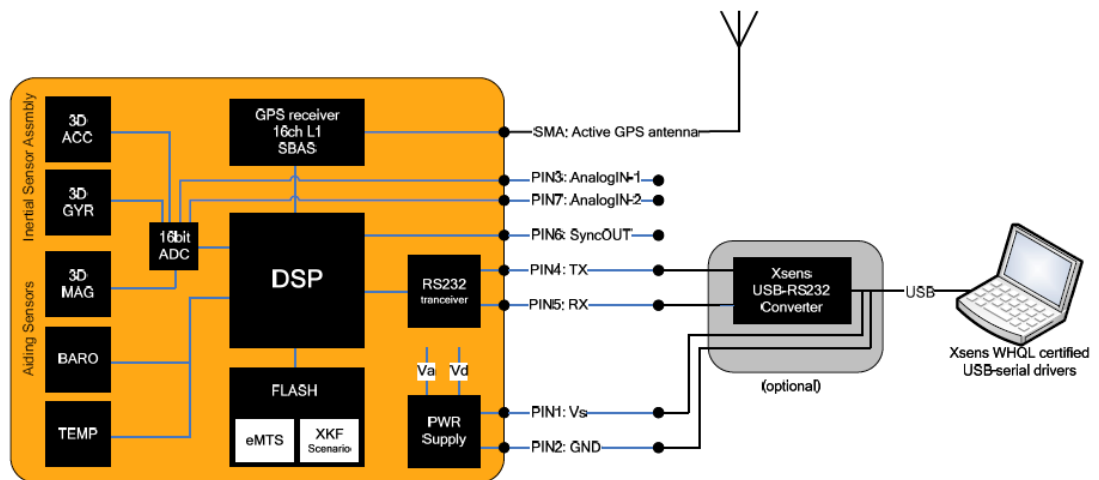


Figura 19: Esquema de la arquitectura del MTi-G de Xsens

La posición y orientación del MTi-G se estima usando el filtro de Kalman extendido denominado Filtro Xsens Kalman 6DOF GPS (XKF-6G). Un filtro de Kalman se divide en predicción de paso y corrección de paso. En la predicción de paso, los sensores inerciales integran respecto al tiempo para estimar una posición y una orientación. Debido a los pequeños errores en los giróscopos y acelerómetros, la estimación no será perfecta y el error en la estimación, así como su incertidumbre asociada crecerá con el tiempo, produciéndose así una cierta deriva.

En el paso de corrección de XKF-6G, esta deriva es corregida usando los datos del receptor de GPS y la señal del sensor de presión estático (barómetro). Dependiendo del escenario se podrá añadir información de otros sensores.

NAVEGACIÓN POR ESTIMA USANDO SENSORES INERCIALES

MTi-G está diseñado y calibrado para sacar el máximo partido de los giróscopos y acelerómetros usados en él. La exactitud de los sensores inerciales MEMS es todavía limitada y pequeños errores se harán significativos si se integra más de unos segundos. Cada medio minuto la orientación variará uno o dos grados.

Los sensores inerciales MEMS se utilizan para obtener la orientación y la posición integrando en el tiempo. Este proceso se conoce como “navegación por estima”. Dada una estimación previa de la orientación, se integra la velocidad angular para obtener una nueva estimación de la orientación. Para estimar una nueva posición, se integra 2 veces la señal de los acelerómetros. El resultado obtenido se suma a la posición anterior, obteniendo así una nueva posición estimada. Hay que restar la aceleración de la gravedad ya que si no se integrará dos veces y la nueva posición estimada será errónea.

La precisión en la posición y velocidad que puede llegar a tener el dispositivo, depende fuertemente de múltiples factores como el número de satélites conectados, incertidumbre en la posición de los satélites y la sincronización del reloj, presencia de obstrucciones en la línea de visibilidad del satélite, condiciones atmosféricas (incluidas las que se dan en la ionosfera y troposfera), etc. El comportamiento también depende de la historia, esto significa que la precisión actual depende del pasado.

El MTi-G tiene una banda preparada para recibir la señal del Galileo cuando esté disponible (tan solo se requerirá una actualización del firmware).

El sistema de GPS complementa el sistema inercial proveyéndole de una posición y velocidad de salida más estables. Los pequeños errores introducidos al integrar las señales del acelerómetro y el giróscopo son corregidos con la posición y la velocidad dada por el GPS, resultando una salida estable y capaz de detectar cambios bruscos en el movimiento.

La información obtenida por el GPS además de corregir la posición y la velocidad obtenida por los sensores inerciales, corrige también la orientación.

MANEJAR LAS PÉRDIDAS DE SEÑAL DEL GPS

El XKF-6G está diseñado para operar con una buena señal de GPS. De todas formas, cortas pérdidas de la señal, pueden ser asumidas y la orientación, posición y velocidad se estimarán con el resto de los sensores. Estas estimaciones se degradarán rápidamente. Después de una pérdida de más de 10 segundos se activa un modo diseñado para dar solo la orientación.

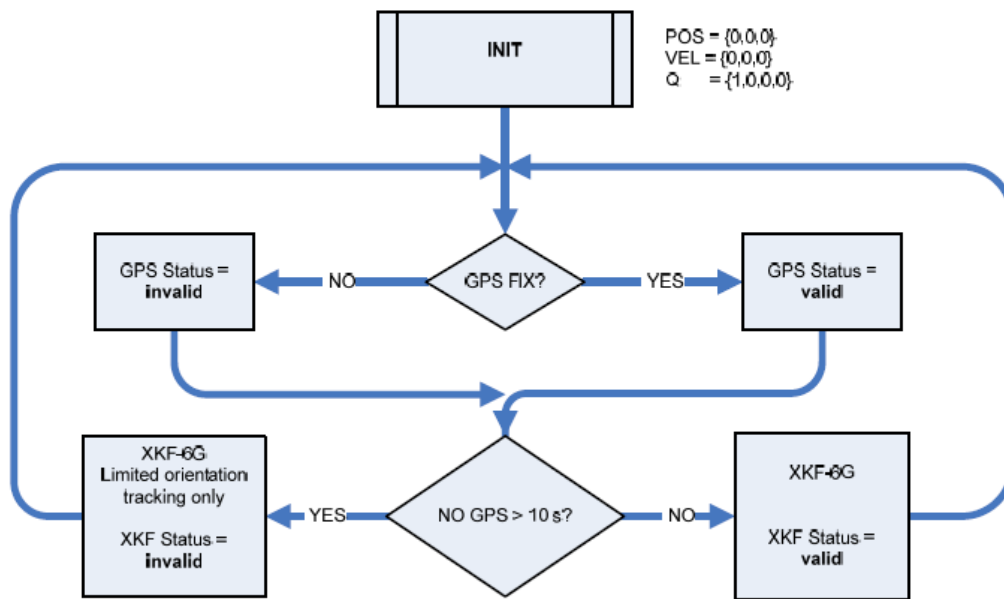


Figura 20: Algoritmo del manejo de pérdidas de señal del MTi-G

ESCENARIOS

El MTi-G dispone de diferentes escenarios, diseñados para diferentes situaciones que se pueden presentar.

- **Escenario de Propósito General**

El Escenario de Propósito General se usará cuando no se pueda usar el campo magnético terrestre. En este escenario, el cabeceo solo se puede observar si el objeto sobrepasa una cierta aceleración. Cuando el objeto está quieto o se mueve a velocidad constante durante más de 10 segundos, el cabeceo empieza a degradarse.

Este escenario tiene una versión llamada General_nobaro en la que no se utiliza el sensor de presión.

- **Escenario Aeroespacial.**

Este escenario usa los magnetómetros de los que se obtiene directamente el norte magnético. Sumándole la declinación magnética local, estima el Norte geográfico. La ventaja de este escenario es que se puede usar con el vehículo parado o moviéndose a velocidad constante sin que se genere una deriva. La declinación local magnética puede introducirse en el MT manager o mediante un comando de bajo nivel.

Debido al uso de los magnetómetros, si el entorno en el que se usa tiene grandes estructuras de acero a es interior será mejor usar el escenario automóvil, en el que no se usan los magnetómetros.

Este escenario tiene una versión en la que no se usa el sensor de presión llamado `aeroespacial_nobaro`.

- **Escenario Automovilístico**

El escenario automovilístico se ha desarrollado para vehículos que no tengan un excesivo deslizamiento lateral. El eje X del MTi-G debe de estar perfectamente alineado con la dirección de desplazamiento del vehículo, preferiblemente que sea menor de un grado. Si no se puede colocar el eje X del MTi-G en la dirección del desplazamiento, pero se conoce su orientación, se puede introducir una matriz de alineación para ajustar este eje.

Este escenario tiene una versión llamada `Automotive_nobaro` en el que no se usa el sensor de presión.

XKF-6G Scenario	IMU	GPS	Magnetometer	Static pressure (baro)	Holonomic (no-side slip)
General purpose	●	●		●	
General_nobaro	●	●			
Aerospace	●	●	●	●	
Aerospace_nobaro	●	●	●		
Automotive	●	●		●	●
Automotive_nobaro	●	●			●

Figura 21: Escenarios disponibles para el MTi-G. Sensores que usa en cada escenario

LIMITACIONES

El filtro XKF-6G obtiene la posición y orientación mediante la información actual y la pasada. Esto significa, que después de encenderlo, necesita algún tiempo, normalmente 30 segundos o más. El mínimo tiempo al iniciarse es de 1 minuto, pero el filtro seguirá mejorando después de 15 minutos. Este tiempo se requiere para establecer una buena posición y orientación.

La antena del GPS tiene que tener una visión clara del cielo. En los entornos con mala recepción de la señal GPS, la estimación de la posición y la orientación será menos precisa.

Los sensores inerciales pueden resolver alguna degradación pero en situaciones con conflictos en la señal durante tiempos prolongados, como puede ocurrir en los “cañones urbanos” el rendimiento se degradará rápidamente y llegará a ser inestable.

El MTi-G es redundante en la señal GPS y la presión barométrica. En situaciones extremas, con cambios rápidos de tiempo, la precisión de la dirección vertical puede verse comprometida temporalmente.

POSICIÓN DE LA ANTENA DEL GPS RESPECTO AL MTi-G

No es necesario que la antena del GPS y el MTi-G estén en la misma posición. De hecho, el MTi-G se debe montar en el centro de gravedad del vehículo y la antena en un lugar en el que tenga una visión clara del cielo. Al montar el MTi-G en el centro de gravedad se minimiza la aceleración centrípeta y los efectos de rotación del vehículo que pueden causar errores de linealización en el XKF-6G (filtro de kalman) si tienen frecuencias elevadas.

El XKF-6G presupone que el MTi-G y la antena del GPS están en una posición fija el uno frente al otro. La relación entre sus posiciones hay que introducirlas en el vector Objec co-ordinate system.

ACELERACIONES DURANTE LOS CORTES DE SEÑAL GPS

Si el GPS no está disponible, el MTi-G no puede hacer una estimación fiable de la posición o la velocidad. Sin embargo si estima el cabeceo y el alabeo. En este caso, se usan los acelerómetros 3D para estimar la dirección de la gravedad para obtener una referencia para el alabeo (pitch/roll). Durante breves periodos sin aceleraciones no se puede observar la gravedad.

El impacto de las aceleraciones transitorias puede ser minimizado colocando el dispositivo donde se esperen las aceleraciones más pequeñas.

MATERIALES MAGNÉTICOS E IMANES

Cuando se coloca el MTi-G cerca de un objeto que contiene materiales ferromagnéticos, o de un objeto magnético, la medida del campo magnético Terrestre se distorsiona y causa errores de medida en el cabeceo (yaw).

El campo magnético Terrestre es alterado por materiales ferromagnéticos, imanes permanentes o grandes corrientes (varios amperios).

En la práctica, el grado de distorsión viene determinado por la distancia al objeto y la cantidad de material ferromagnético. Los errores en el cabeceo (yaw) debido a estas

distorsiones pueden ser bastante grandes, ya que el campo magnético terrestre es muy débil en comparación con las fuentes de distorsión.

COORDENADAS GEOGRÁFICAS. ELIPSOIDE WGS84

Para conocer la posición de un punto de la Tierra se ha decidido usar las coordenadas geográficas. El origen de coordenadas está situado en el centro de la tierra y los ejes rotan con esta.

En el sistema ECEF, el plano xy coincide con el plano ecuatorial de la Tierra, los puntos del eje x con la longitud 0° (meridiano de Greenwich) y los puntos del eje y con la dirección 90°E . Normalmente se transforman estas coordenadas cartesianas en latitud, longitud y altura. Para realizar esta transformación es necesario definir un modelo físico de la Tierra. El modelo estándar de la Tierra usado para las aplicaciones GPS es el Sistema Geodésico Mundial de 1984. El elipsoide WGS84 es el sistema usado en el MTi-G. Los principales parámetros son:

- Semieje mayor $a=6378137$ m
- Semieje menor $b=6356752$ m

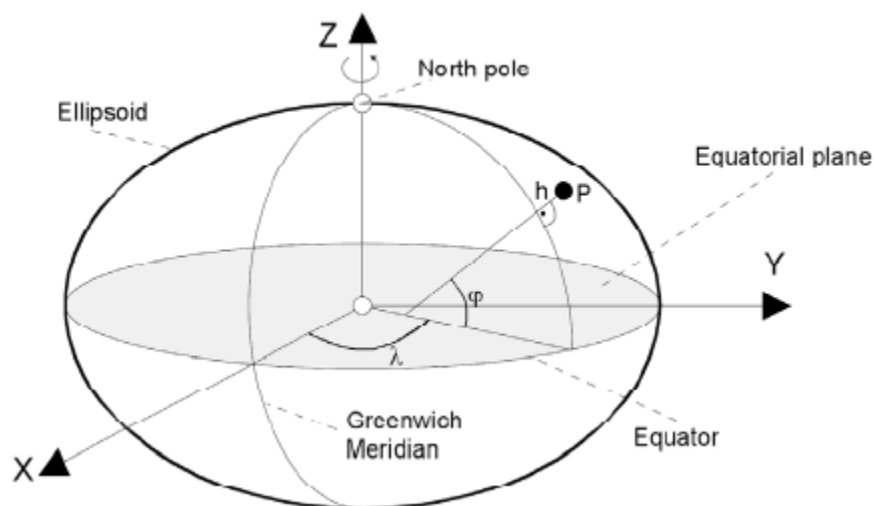


Figura 22: Coordenadas usadas por el MTi-G.

NORTE GEOGRÁFICO Y NORTE MAGNÉTICO

Cuando hay señal de GPS disponible, el sistema de coordenadas de salida esta medido con respecto al norte geográfico. Cuando el GPS no está disponible, el sistema de coordenadas de salida esta medido con respecto al norte magnético. La desviación entre el Norte Magnético y Norte Geográfico, conocida como declinación magnética, varía dependiendo de la localización en la que se encuentre el MTi-G y se puede obtener mediante varios modelos en función de la latitud y la longitud.

Se puede configurar el valor de la declinación en el MTi-G, usando el software MT Manager . El MT Manager también nos puede estimar un valor de la declinación en nuestra ubicación usando el modelo The World Magnetic Model 2005 (WMM-2005).

MODOS DE ORIENTACIÓN DE SALIDA.

La orientación del MTi-G puede ser presentada de 3 modos diferentes:

- Cuaterniones
- Ángulos de euler (Roll, Pitch y Yaw)
- Matrices de rotación

GPS Receiver specification		Attitude and Heading from XKF	
Receiver Type:	16 channels L1, C/A code	Dynamic Range:	
GPS Update Rate:	4 Hz	Pitch:	$\pm 90^\circ$
Pos/Vel Update Rate:	100 Hz	Roll:	$\pm 180^\circ$
Accuracy Position SPS:	2.5 m CEP	Heading:	$\pm 180^\circ$ (0...360°)
DGPS/SBAS:	2.0 m CEP ¹⁰	Angular Resolution ¹¹ :	0.05 deg
Start-up Time Cold start:	34 s	Static Accuracy:	
Re-acquisition:	<1 s	Roll/Pitch:	<0.5 deg
Tracking Sensitivity:	-158 dBm	Heading ¹² :	<1 deg
Timing Accuracy:	50 ns RMS	Dynamic Accuracy ¹³ :	
Operational Limits:		Roll/Pitch:	1 deg RMS
Maximum Altitude:	18 km	Heading ¹⁴ :	3 deg RMS
Maximum Velocity:	515 m/s (1854 km/h)	Max update rate:	
Max dynamics GPS:	4 g	Autonomously:	100 Hz
		PC/raw data:	512 Hz

Tabla 3: Especificaciones del MTi-G

Con todo esto se puede concluir que con este modelo de GPS no se puede tener una posición con la precisión que requiere el proyecto. Para que el iCab se guiara únicamente a partir de la señal que recibe del GPS, se tendría que tener la certeza de que la posición recibida no tuviera un error mayor de 1 metro. En diferentes pruebas realizadas, se ha comprobado que el error que da el GPS es muy variable, llegando en alguna ocasión a los 20 metros. Esto desechó la idea de que el coche pudiera moverse de forma autónoma exclusivamente con la información del GPS.

4.3 Brújula

Uno de los sensores más importantes para el proyecto es la brújula. Esta nos indica la dirección en la que se está moviendo el iCab (yaw). Tal como se planteó en un principio el proyecto, este era el sensor fundamental, ya que la base del programa era que para ir de un punto a otro lo que debía de hacer el iCab era girar hasta que estuviera alineado con el siguiente punto. Una vez alineado bastaba con ir recto. Para poder conseguir esto la brújula debía de ser muy fiable y con un error pequeño.

El MTi-G nos da la dirección en la que está colocado mediante varios métodos. Para extraer la dirección cuenta con los magnetómetros, los giróscopos, acelerómetros y el GPS. Dependiendo el modo que uses usa unos sensores u otros para dar la dirección o una mezcla de ellos.

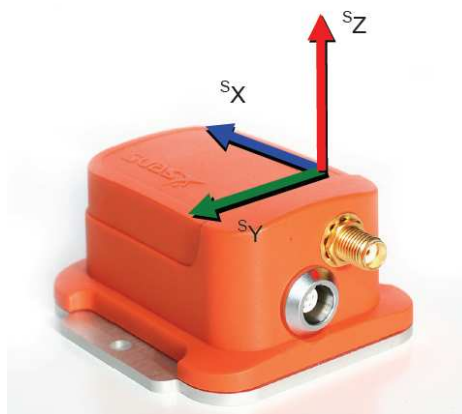


Figura 23: Orientación de los ejes de coordenadas del MTi-G

Cada procedimiento tiene sus ventajas y sus inconvenientes. Para obtener la dirección se puede usar la brújula o los giróscopos.

- BRÚJULA

Proporciona el ángulo respecto al Norte magnético. Se puede corregir para referirlo al Norte geográfico con la declinación magnética. Esta medida es muy fiable en exteriores, pero no tanto en presencia de entornos metálicos (lugares en los que haya objetos metálicos como barandillas, estructuras metálicas, puertas metálicas, objetos...) que se suelen encontrar en interiores. En este caso la medida da muchos errores.

- GIRÓSCOPOS

Se puede obtener la dirección integrando las velocidades angulares proporcionadas por el giróscopo, con lo que se obtienen las variaciones con respecto a la orientación en el instante inicial que debe ser conocido. La ventaja es que esta medida no se ve afectada por objetos metálicos pero el inconveniente es que solo es válida en pequeños intervalos de tiempo ya que al integrar los errores de la velocidad angular, la orientación se irá degradando y tendrá una deriva grande.

Como el iCab se va a mover en exteriores, lo que más conviene es usar la brújula para obtener la orientación. Habrá que tener cuidado en colocar el MTi-G lo más alejado posible de objetos metálicos.

El problema que surge aquí es que el MTi-G en el modo automotive da la posición con bastante más precisión pero no usa la brújula. Al usar los giróscopos en el momento que el coche se detiene la orientación empieza a tener una gran deriva. Sin embargo, el modo aerospace aunque sí que usa la brújula, nos da una posición con más error.

En el Proyecto de Navegación Personal Lázaro han usado este mismo sensor y han hecho una serie de pruebas tanto en exteriores como en interiores usando la brújula y los giróscopos y viendo cual era más conveniente en cada caso. A partir de esto se ha decidido que en el caso del iCab se debe de usar la brújula para obtener la orientación [13].

ENSAYOS EN EXTERIORES

Los ensayos realizados en exteriores se caracterizan por la fiabilidad de las medidas obtenidas mediante la brújula incorporada en el sensor. Serán ensayos en los que se ha recorrido una gran longitud y se ha realizado una trayectoria cerrada, es decir, el punto de partida será exactamente el mismo que el punto de llegada.

Ensayo 1

El primer ensayo consiste en recorrer una trayectoria rectangular de 32 metros de longitud. Se ha hecho una comparativa entre el cálculo de la trayectoria usando las medidas de orientación proporcionadas por la brújula y el cálculo de la misma

trayectoria empleando las medidas proporcionadas por el giróscopo. Dicha comparativa está representada en la Figura.

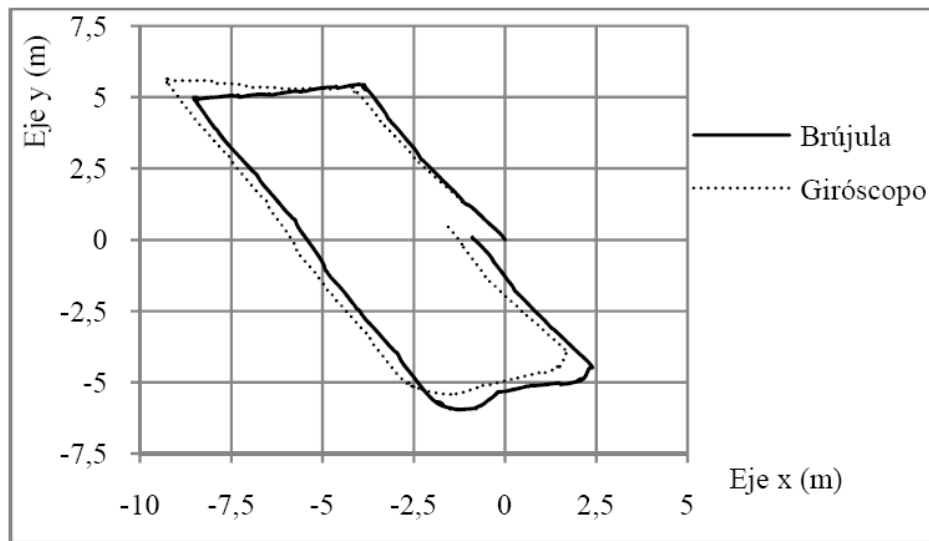


Figura 24: *Ensayo 1. Trayectoria rectangular de 32 metros. Recorrida con giróscopo y brújula*

En ninguno de los dos casos se ha obtenido el resultado exacto, ya que el rectángulo no se ha cerrado. Sin embargo, el ensayo que hace uso de la señal del giróscopo presenta un error mayor. Esto se debe al error acumulativo del que ya se ha hablado. En el caso de la brújula el resultado ha sido más preciso, aunque no del todo exacto. Puede haber influido la presencia de metales alrededor, como barandillas o la proximidad de coches en el lugar donde se realizó el ensayo.

El porcentaje del error cometido con relación a la distancia recorrida es:

- Error ensayo giróscopo: 2.5 metros → 7.81%
- Error ensayo brújula: 0.56 metros → 1.75%

Ensayo 2

La trayectoria en este ensayo tiene una longitud de aproximadamente 90 metros. Al igual que en el *ensayo 1*, se ha representado una comparativa entre la brújula y el giróscopo (Figura 25).

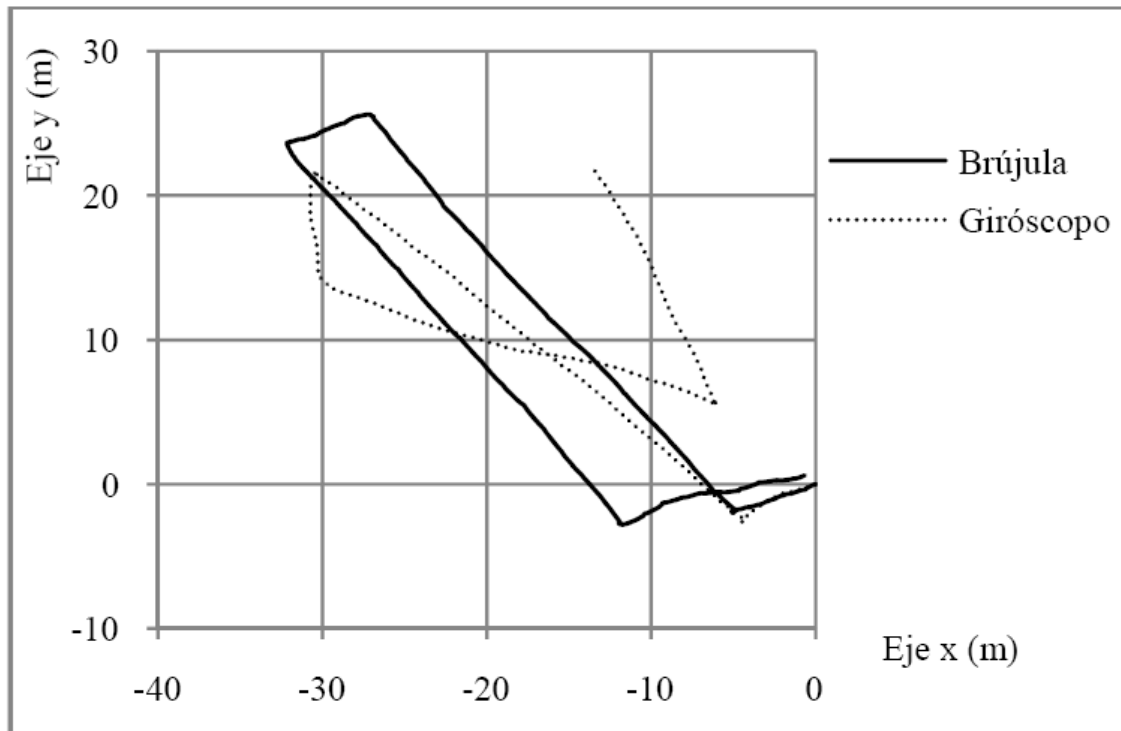


Figura 25: Ensayo 2. Recorrido de unos 90 metros

La trayectoria seguida por el sensor según el ángulo marcado por la brújula se asemeja bastante a la esperada. Esto se debe a la ausencia de entornos metálicos que perturbe la medición. En el caso del giróscopo, nuevamente la gran distancia recorrida ha hecho que el resultado se vea muy afectado por la presencia del error acumulado.

- Error giróscopo: 25.9 metros → 28.63%
- Error brújula: 0.9 metros → 1.06%

ENSAYOS EN INTERIORES

Los ensayos en interiores serán de dos tipos. Unos en lugares donde hay una significativa presencia de objetos metálicos alrededor, los cuales afectarán a la medida de la brújula, y otros en los que ocurre justo lo contrario, hay ausencia de objetos metálicos significativos.

Ensayo 3

La trayectoria seguida en este ensayo es un cuadrado de aproximadamente 20 metros de longitud en un entorno donde abundan los metales y los equipos informáticos Figura

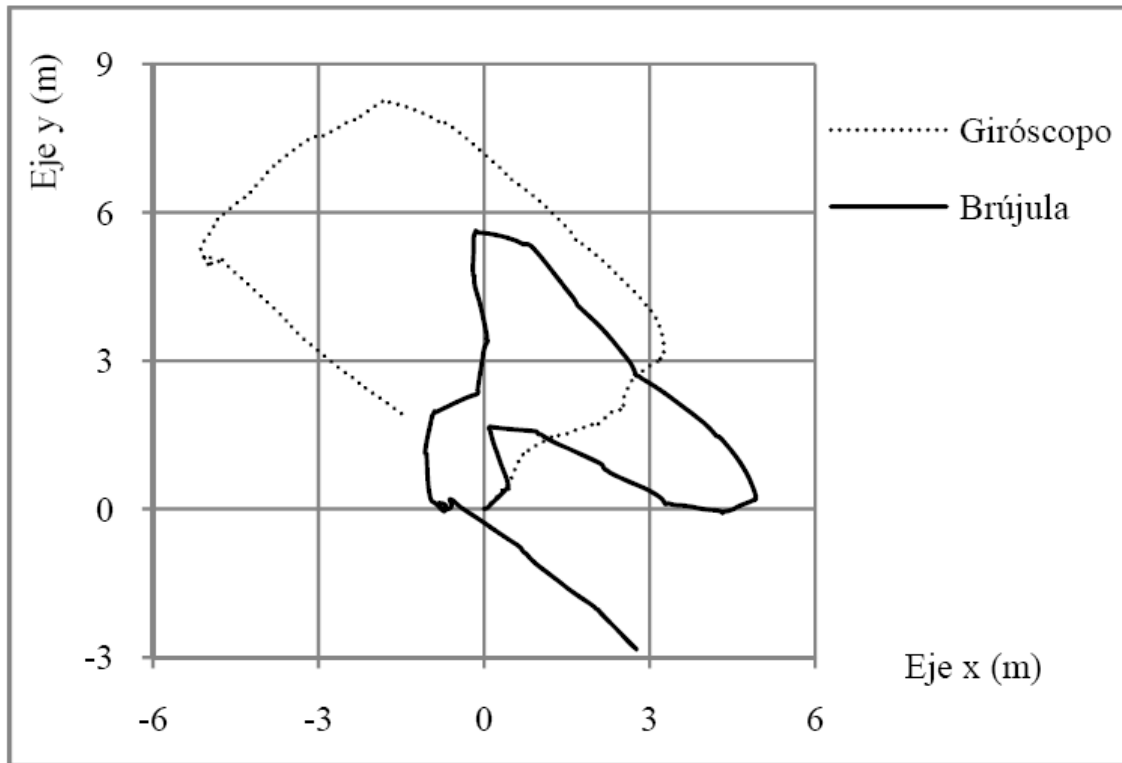


Figura 26: Ensayo 3. Recorrido de 20 metros en un entorno con objetos metálicos

En este caso, la trayectoria calculada en función del ángulo dado por la brújula se aleja bastante del cuadrado que se esperaba obtener. Esto se debe a que en la trayectoria seguida en el ensayo se han atravesado o pasado cerca de múltiples elementos susceptibles de perturbar la medición de la brújula, tales como puertas metálicas, estanterías y equipos informáticos. Por tanto en este caso es de esperar que la medida del giróscopo sea más fiable, ya que él no se ve afectado por cambios magnéticos y la distancia recorrida no ha sido excesiva como para que el error afecte de manera desproporcionada.

- Error giróscopo: 2.1 metros → 9.19%
- Error brújula: 3.7 metros → 16.28%

Ensayo 4

En este ensayo se recorre un pasillo recto. Se va hasta el final del mismo, se gira 180° y se vuelve al punto de partida. En total se recorren 40 metros. El ensayo se ha realizado en un interior caracterizado por mínima presencia de elementos metálicos que puedan perturbar la medida de la brújula. El escenario ha sido un pasillo en el cual las puertas son de madera. La trayectoria recorrida se muestra en la figura.

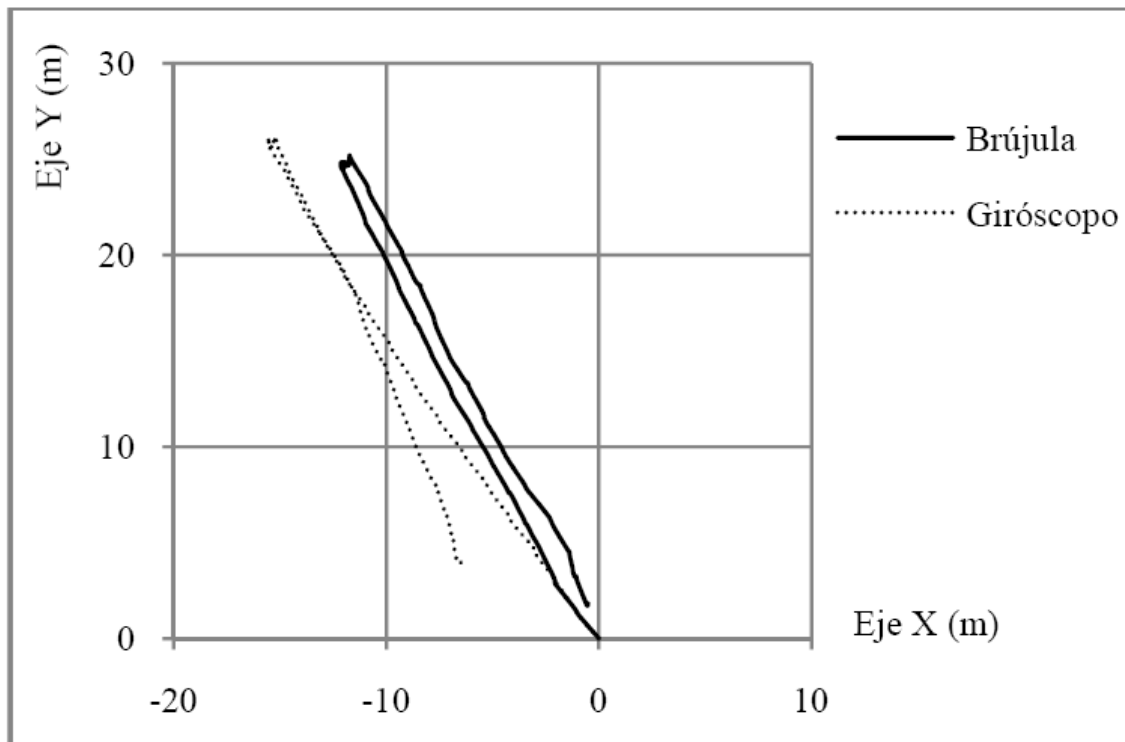


Figura 27: Ensayo 4. Recorrido recto de 40 metros

La Brújula, al contrario que en el caso anterior, ha dado una medida fiable incluso en interiores. Esto era predecible ya que como se ha mencionado antes, el escenario era favorable al carecer de elementos que perturbasen su medida (puertas metálicas, ordenadores, imanes presentes en altavoces...). Por el contrario, la medida del ángulo a través del giróscopo no ha dado los resultados esperados por el error que se acumula, si bien la representación de la trayectoria en los primeros 20 metros si ha sido la esperada. El error mayor se ha producido a partir del primer y único giro de 180° en la mitad del trayecto.

4.4 Lógica Difusa

L.A. Zadeh introdujo la teoría de conjuntos borrosos en 1965. A mediados de los 70 se amplió el concepto al de lógica difusa y empezó a crecer su uso. Hoy en día cada vez está más extendida y se usa en un sinnúmero de aplicaciones. Complejos procesos industriales, sistemas de diagnóstico, electrodomésticos son algunos de los ejemplos en los que se ha popularizado el uso de la lógica difusa [14], [15], [16].

La base de esta técnica son los conjuntos borrosos. Los conjuntos borrosos, a diferencia de los conjuntos precisos, no tienen unos bordes definidos, sino que van variando el grado de pertenencia dentro del rango $[0,1]$. Cero indica que el objeto no pertenece al conjunto y 1 que si pertenece. Un valor intermedio nos da la probabilidad de que el objeto pertenezca al conjunto.

Para el ser humano es fácil clasificar los objetos en el grupo al que pertenecen. La lógica difusa intenta imitar este proceso que el ser humano hace instintivamente. Por ejemplo, si una persona mide 1.80 o 1.79 m decimos que es una persona alta. En un conjunto preciso si establecemos que las personas altas son de 1.80 en adelante. Alguien que mida 1.80 será alto pero alguien que mida 1.79 no lo será. Para evitar esto en la lógica difusa se crean las llamadas funciones de pertenencia en la que una persona pertenece al grupo alto con una cierta “probabilidad”. La persona de 1.79 será alta con un valor de 0.9 y una persona que mida 1.70 será alta con un valor de 0.3.

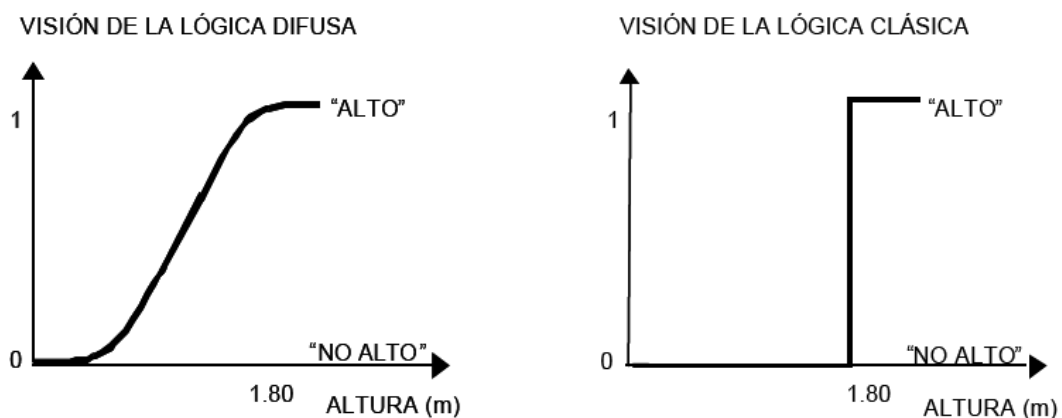


Figura 28: Diferencia entre la lógica difusa y la lógica clásica

4.4.1 Funciones De Pertenencia

Algunas funciones de pertenencia ampliamente usadas son:

1. Triangular

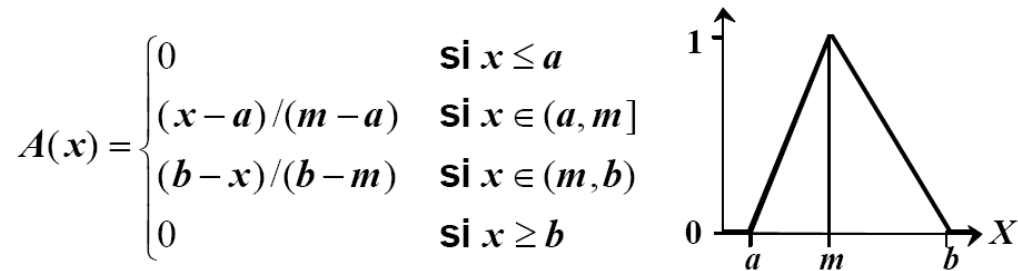


Figura 29: Función de pertenencia triangular y sus ecuaciones

También puede representarse así:

$$A(x; a, m, b) = \max \left\{ \min \left\{ \frac{(x-a)}{(m-a)}, \frac{(b-x)}{(b-m)} \right\}, 0 \right\}$$

2. Función Γ (gamma)

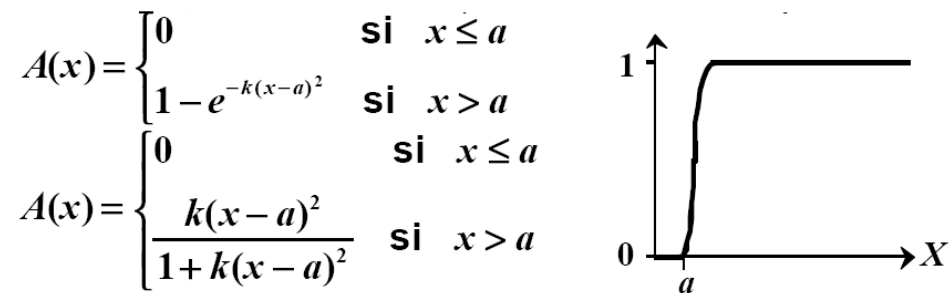


Figura 30: Función de pertenencia Gamma

Se aproxima linealmente por:

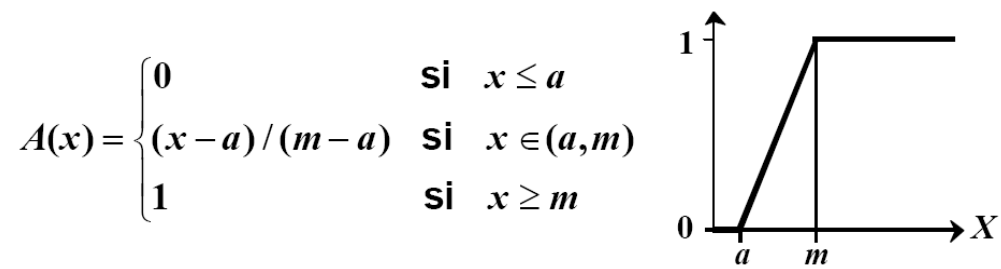


Figura 31: Aproximación de la figura de pertenencia Gamma

3. Función Guassiana:

$$A(x) = e^{-k(x-m)^2}$$

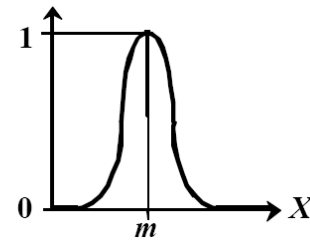


Figura 32: Función de pertenencia Gaussiana

4. Función trapezoidal:

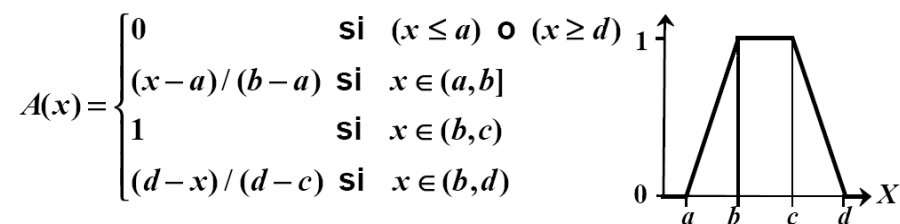


Figura 33: Función de pertenencia trapezoidal

4.4.2 Operaciones con Conjuntos Difusos

- El conjunto complementario de A es aquel cuya función característica viene dada por:

$$\bar{A} \rightarrow \mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$$

- La unión de los conjuntos A y B es un conjunto difuso $A \cup B$ cuya función de pertenencia es:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max [\mu_A(x), \mu_B(x)]$$

- La intersección de dos conjuntos difusos A y B es un conjunto difuso $A \cap B$ cuya función característica es:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min[\mu_A(x), \mu_B(x)]$$

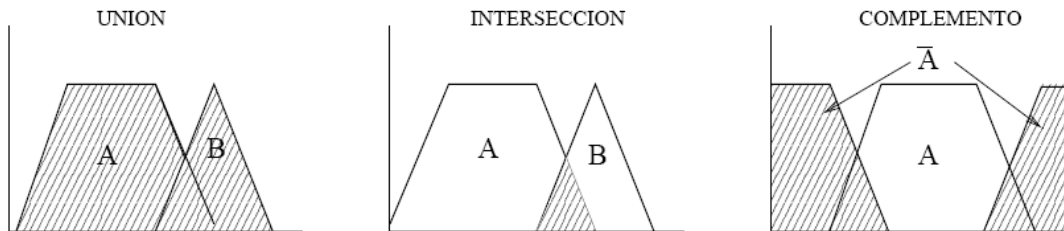


Figura 34: Operación unión, intersección y complemento de conjuntos difusos

4.4.3 Operaciones con Relaciones Borrosas

- Operador AND

Es una noción muy parecida a la de intersección de conjuntos borrosos. La diferencia está en que la intersección se define para conjuntos en el mismo universo de discurso y AND para distintos universos.

$$\mu_{AND}(x, y) = \min[\mu_A(x), \mu_B(y)]$$

- Operador OR

El conectivo OR da idea de en qué medida $x \in A$ o $y \in B$. Se define como:

$$\mu_{OR}(x, y) = \max[\mu_A(x), \mu_B(y)]$$

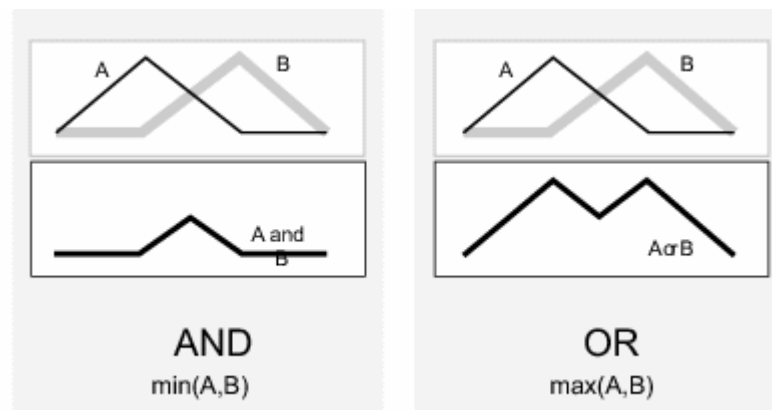


Figura 35: Operaciones AND y OR de relaciones borrosas

4.4.4 Reglas Difusas

Una vez que están definidas las variables difusas de entrada y salida, se ponen unas reglas que serán las que guiarán el funcionamiento del sistema. Estas reglas son parecidas al razonamiento humano. Son del tipo IF-THEN.

4.4.5 Desdifusor

Finalmente, a partir del conjunto difuso obtenido por el sistema de inferencia, mediante los métodos de desdifusión se obtiene el valor de la variable de salida.

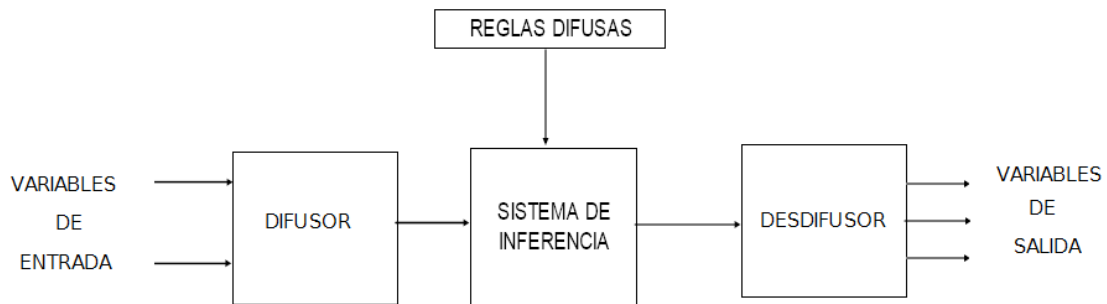


Figura 36: Esquema de un sistema de lógica difusa

4.4.6 Caso Práctico

El objeto de usar la lógica difusa en este proyecto es obtener la velocidad y el ángulo de giro de las ruedas de ICab que son las variables que se pueden controlar. Dando los valores apropiados en cada momento a estas 2 variables, el ICab será capaz de llegar al lugar que se desee.

Para saber cuáles son los valores apropiados cada momento se necesita información del exterior. En este caso, mediante el GPS sabemos la posición del vehículo y la dirección en la que está colocado en todo momento. Sabiendo las coordenadas a las que debe llegar, se calcula los puntos por los que debe pasar mediante un algoritmo para el cálculo de trayectorias. El problema se simplifica ahora en encontrar como llegar de un punto a otro que están cerca. Presuponemos que entre estos dos puntos no hay obstáculos de por medio, tema que se verá más adelante.

Teniendo el primer punto de origen (dado por el GPS) y el de destino (dado por el usuario), en primer lugar se calculan las variables de entrada para el programa de lógica difusa.

Estas son:

- Distancia entre los dos puntos en línea recta.
Puede tomar 3 valores: cerca, media, lejos
- Ángulo que forman la recta que une los 2 puntos con el norte (la dirección que debe llevar el ICab para alinearse con el punto de destino).

- Puede tomar 6 valores: muy a la izquierda, bastante a la izquierda, izquierda, derecha, bastante derecha, muy derecha.

Con estas variables, el objetivo del ICab es girar con el ángulo necesario hasta alinearse con el punto de destino. Una vez alineado, basta con seguir recto hasta llegar a él. La velocidad que llevará el ICab y el ángulo de giro de las ruedas dependerá de su distancia al siguiente punto y del ángulo que le falta para alinearse. Mediante la lógica difusa obtenemos estas 2 variables de salida. Los pasos a realizar son los siguientes:

VARIABLES DE ENTRADA

Distancia al siguiente punto.

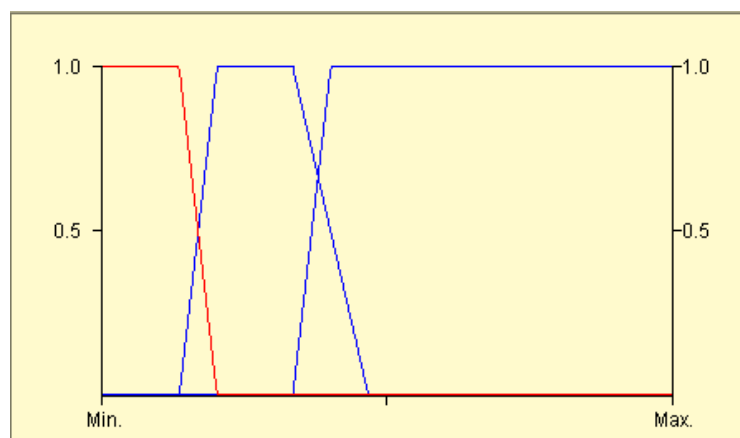


Figura 37: Distancia a la que se encuentra el iCab del siguiente punto del recorrido.
Clasificada en cerca, media, lejos

La dividimos en las categorías cerca, media y lejos.

Ángulo:

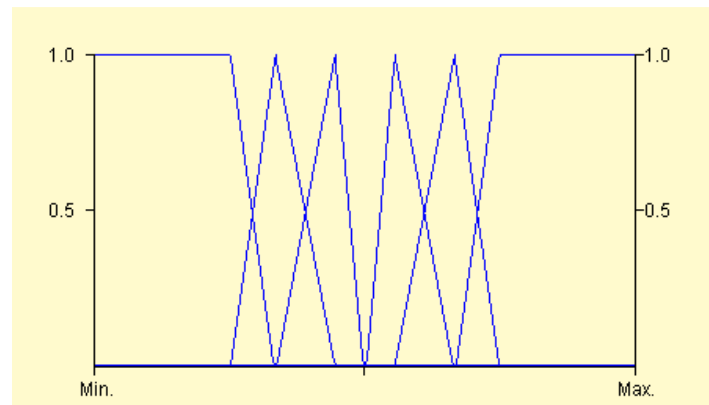


Figura 38: *Ángulo que debe girar el iCab para alinearse con el siguiente punto del recorrido. Clasificada en 6 categorías*

Se divide en 6 categorías: muy a la izquierda, bastante a la izquierda, izquierda, derecha, bastante derecha, muy derecha.

VARIABLES DE SALIDA

Velocidad de salida:

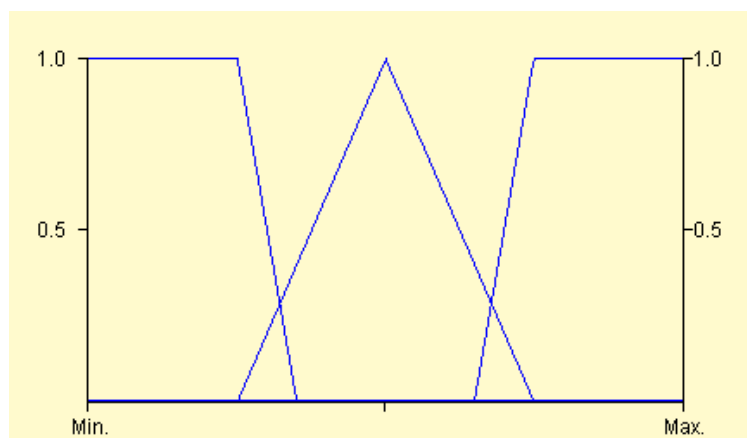


Figura 39: *Velocidad de salida del iCab*

Se divide en lenta, media, rápida.

Ángulo de salida:

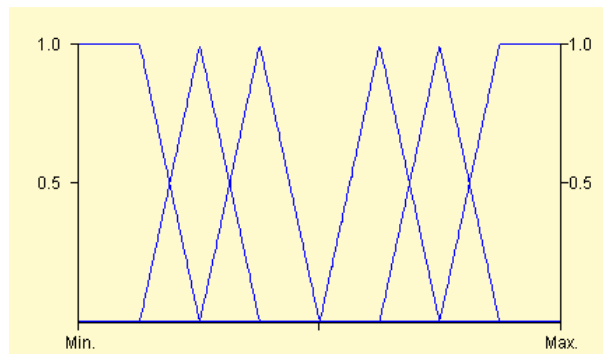


Figura 40: *Ángulo de giro de las ruedas del iCab*

Se divide en 6 categorías: muy a la izquierda, bastante a la izquierda, izquierda, derecha, bastante derecha, muy derecha.

REGLAS

El siguiente paso es definir las reglas. Las reglas son del tipo:

- Si el ICab está lejos y el ángulo es izquierda, entonces la velocidad es rápida.
- Si la distancia es cerca y el ángulo es muy izquierda, entonces el ángulo de salida es muy derecha.
- Si la distancia es cerca y el ángulo es muy izquierda, entonces la velocidad es lenta.

Así mediante reglas muy parecidas a la experiencia humana se irían definiendo todos los casos posibles de este problema concreto. Estas reglas se pueden definir en dos tablas una para cada variable de salida.

Velocidad de salida:

	MUY IZDA	BASTANTE IZDA	IZDA	DCHA	BASTANTE DCHA	MUY DCHA
CERCA	Lento	Lento	Lento	Lento	Lento	Lento
MEDIA	Lento	Lento	Media	Media	Lento	Lento
LEJOS	Lento	Media	Rápido	Rápido	Media	Lento

Tabla 4: *Reglas aplicadas para la variable de salida velocidad*

Ángulo de salida:

	MUY IZDA	BASTANTE IZDA	IZDA	DCHA	BASTANTE DCHA	MUY DCHA
CERCA	Muy dcha	Muy dcha	Bastante dcha	Bastante Izda	Muy izda	Muy izda
MEDIO	Muy dcha	Bastante dcha	Bastante dcha	Bastante Izda	Bastante Izda	Muy izda
LEJOS	Muy dcha	Bastante dcha	Dcha	izda	Bastante Izda	Muy izda

Tabla 5: Reglas aplicadas para la variable de salida ángulo

Una vez medidas las reglas se procedería a aplicar el algoritmo para sacar las variables de salida a partir de las variables de entrada. Cada par de variables de entrada tiene un único par de variables de salida. Se puede observar los valores en los siguientes gráficos en 3D:

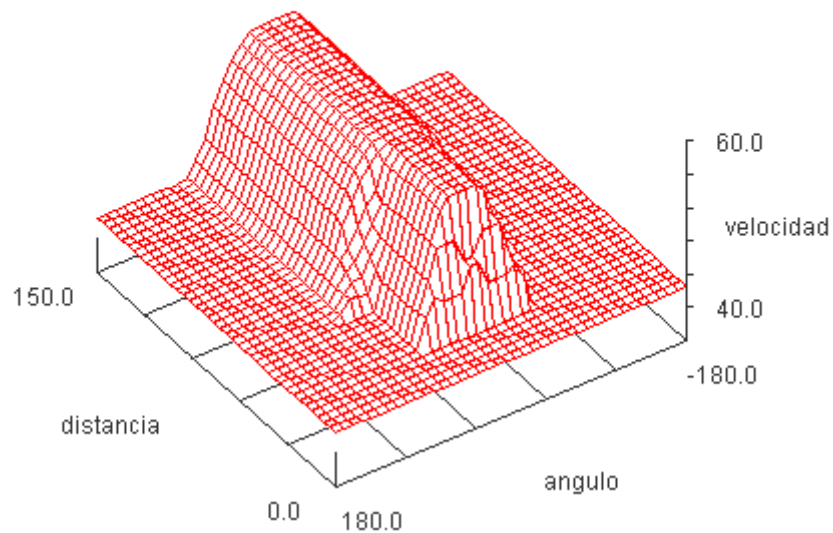


Figura 41: Representación 3-D de los valores de la velocidad de salida en función del ángulo y de la distancia de entrada

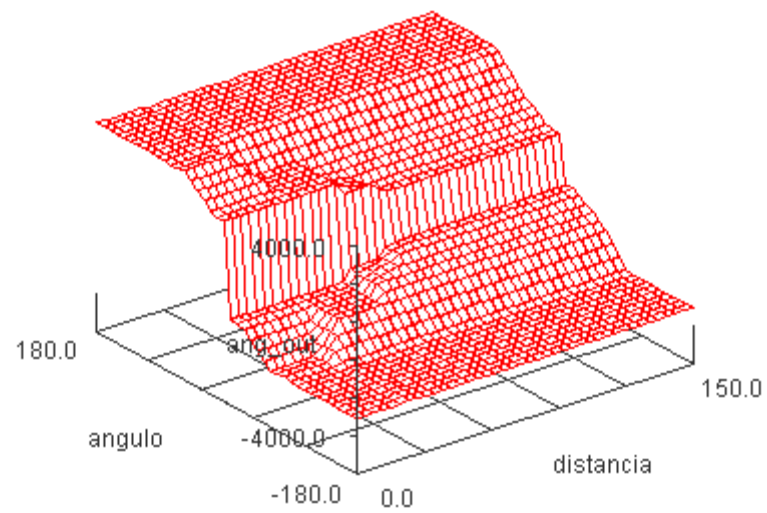


Figura 42: Representación 3-D de los valores del ángulo de giro de las ruedas función del ángulo y de la distancia de entrada

EJEMPLO DE CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE SALIDA A PARTIR DE 2 VALORES DE ENTRADA

Para dos valores de entrada (distancia=7 metros, ángulo=10°), los pasos a seguir para conseguir la velocidad e salida son los siguientes :

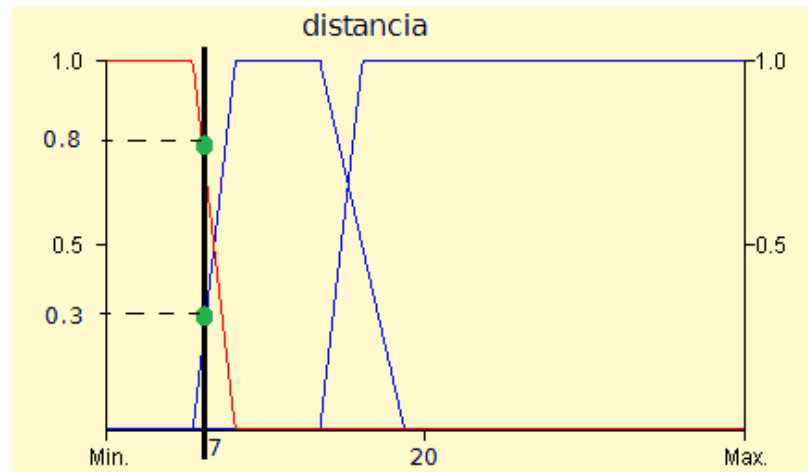


Figura 43: Para una distancia de 7 metros el iCab puede estar cerca con una probabilidad de 0.8 o distancia media con una probabilidad de 0.3

La distancia es cerca con una probabilidad de 0.8 y es media con 0.3.

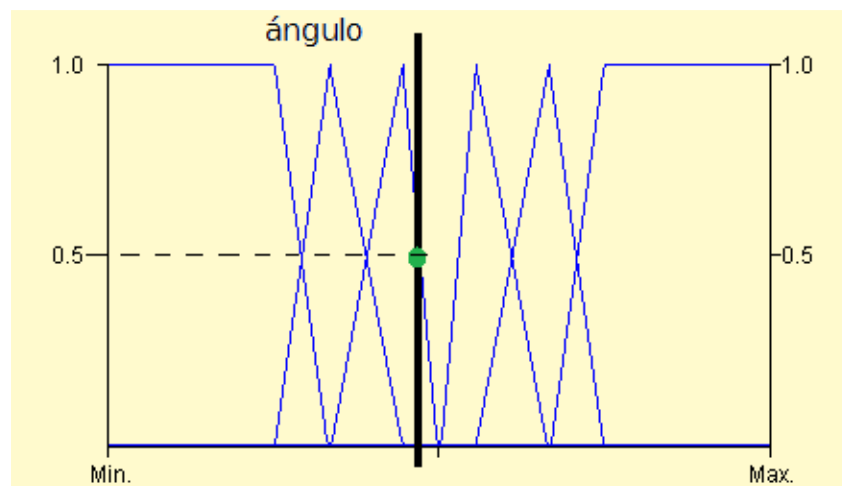


Figura 44: Para un ángulo de 10°, el iCab está a la izquierda con una probabilidad de 0.5

El ángulo es izquierda con una probabilidad de 0.5.

El siguiente paso es ver que reglas se activan. Como la distancia puede ser media o cerca y el ángulo solo puede ser izquierda se activarán:

Si la distancia es cerca y el ángulo es izquierda, entonces la velocidad es lenta con una probabilidad de 0.5 (mínimo de 0.8,0.5).

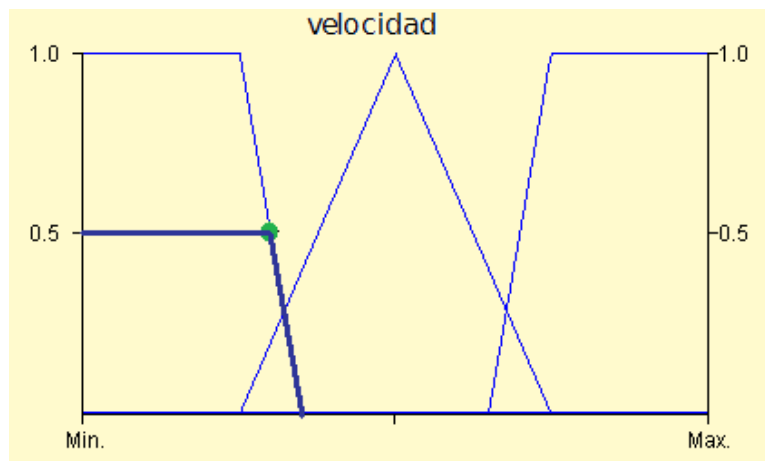


Figura 45: Aplicación de la primera regla que se activa

Si la distancia es media y el ángulo izquierda, entonces la velocidad es media con probabilidad de 0.3 (mínimo de 0.3,0.5).

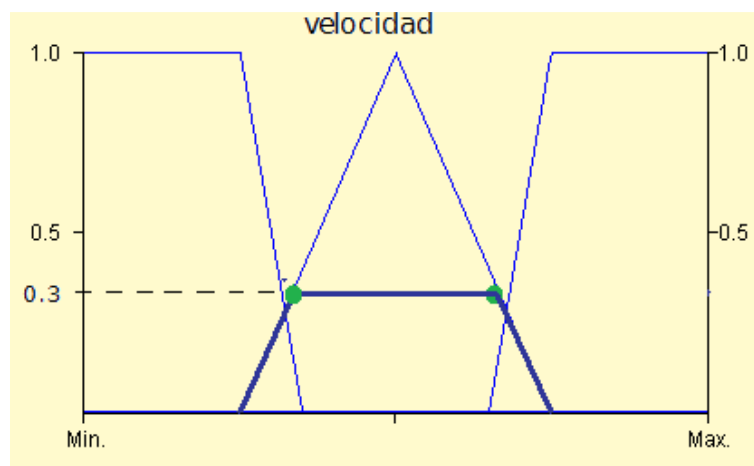


Figura 46: Aplicación de la segunda regla que se activa

Seguidamente se procede a unir los conjuntos obtenidos, resultando la siguiente figura

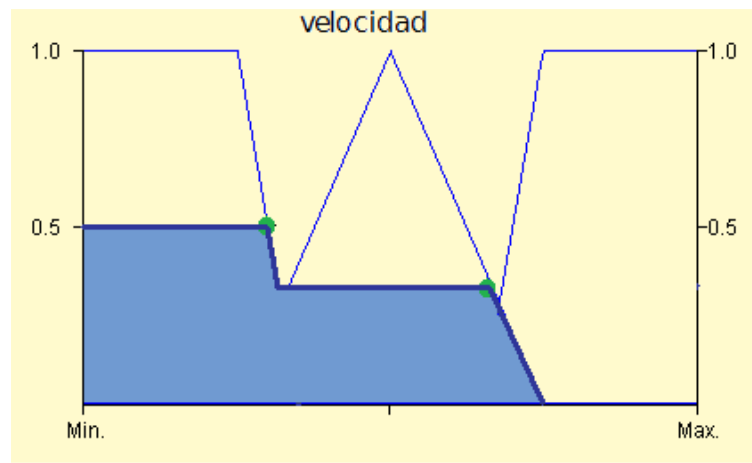


Figura 47: Unión de los conjuntos 1 y 2

Finalmente se halla la velocidad de salida. Hay diferentes métodos de desfusión. El más común es el del centro de gravedad, en el que hay que hallar el centro de gravedad de la figura.

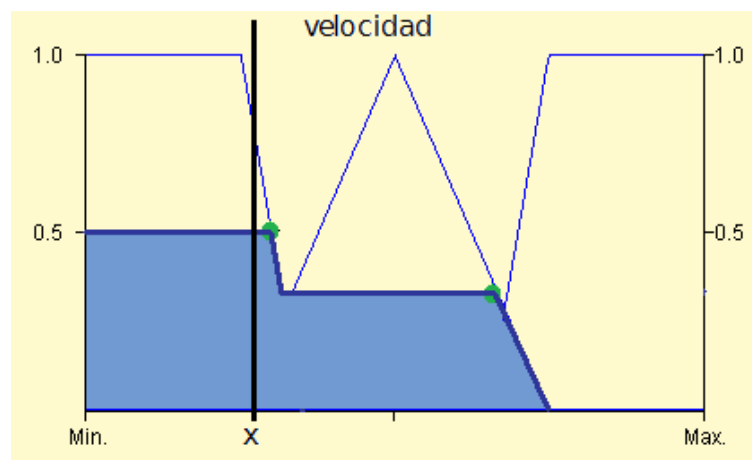


Figura 48: Cálculo del centroide de la figura 35, obteniendo así la velocidad de salida

Siendo la velocidad de salida lenta con un valor de x . Lo mismo habría que hacer para hallar el ángulo de salida.

Inicialmente se pensó en programar el código para que calculara todos estos pasos pero en vista de que el problema era bastante complejo y había demasiadas variaciones, se

buscó algún programa ya hecho que metiéndole los datos (variables de entrada, de salida y reglas) nos diera una tabla o un código particularizado a los datos.

Se consiguió una tabla con Matlab [17]. El problema era que cada vez que se cambiara algo para calibrar el modelo había que cambiar la tabla.

Finalmente se optó por usar el software Xfuzzy 3.0 [18], [19]. Es un programa del CSIC que modela sistemas de lógica difusa y genera un código C++ con el modelo hecho.

Una de las principales dificultades de la lógica difusa es diseñar un modelo que tenga salidas semejantes a las esperadas. Esto se consigue a base de probar distintas entradas, reglas y salidas. Hay software específico para calibrar sistemas de lógica difusa. Estos toman datos a partir de ensayos y luego van probando con diferentes variables.

4.5 Láser

Una de las múltiples aplicaciones de la tecnología láser es la medida de distancias. Las propiedades ópticas de la luz láser, unidas a su elevada direccionalidad, hacen que esta tecnología sea muy apropiada para aplicaciones de metrología, obteniendo medidas muy precisas.

Para medir distancias usando la tecnología láser existen varios métodos. Los principales son los que se basan en las técnicas de interferometría, los basados en el tiempo de vuelo y los basados en triangulación.

Los métodos basados en técnicas interferométricas, están basados en los efectos de la interferencia entre ondas. Son muy precisos. Permiten medir distancias con una resolución del orden de la micra. La desventaja es su rango de aplicación que está limitado a unos pocos metros.

Los métodos basados en el tiempo de vuelo, determinan la distancia midiendo el tiempo que tarda el haz desde que es emitido por el dispositivo hasta que es recibido.



Figura 49: Láser basado en la medida del tiempo de vuelo

El telémetro láser utilizado es el modelo SICK LMS 291-S05, está basado en el tiempo de vuelo. Es capaz de leer un plano de 2 dimensiones con una resolución desde 1° hasta 0,25 y con un campo de visión configurable hasta los 180°. La distancia máxima es regulable desde los 8m hasta los 80m. El periodo de muestreo del láser es de 13ms [20].



Figura 50: Láser SICK LMS 291-S05

Para la aplicación desarrollada se ha empleado la configuración a 1° de resolución y una distancia de 80m, con un ángulo de visión de 180°.

El láser fue montado en la parte frontal del coche, mediante un anclaje que provee el fabricante y adaptado para el espacio disponible en el carrito de golf modelo Ezgo TXT que se disponía.



Figura 51: Detalle de la sujeción del láser



Figura 52: *Detalle de la posición del láser en el iCab*

ADQUISICIÓN Y PROCESADO

El láser se conecta al PC mediante un convertidor serie-usb.

ALIMENTACIÓN

Consumo del sistema Telémetro Láser 20W

OBJETO

El láser proporciona un mapa 2D con la distancia a la que encuentra un objeto y el ángulo al que corresponde. En este caso da 180 medidas de la distancia a la que hay un objeto y el ángulo en el que se encuentra ese objeto. Con estas medidas se puede construir un mapa en el que se ven donde rebota el láser.

Después mediante un algoritmo de detección de obstáculos se agrupan los puntos próximos que pertenecen al mismo objeto, obteniendo así los obstáculos que encuentra el láser.

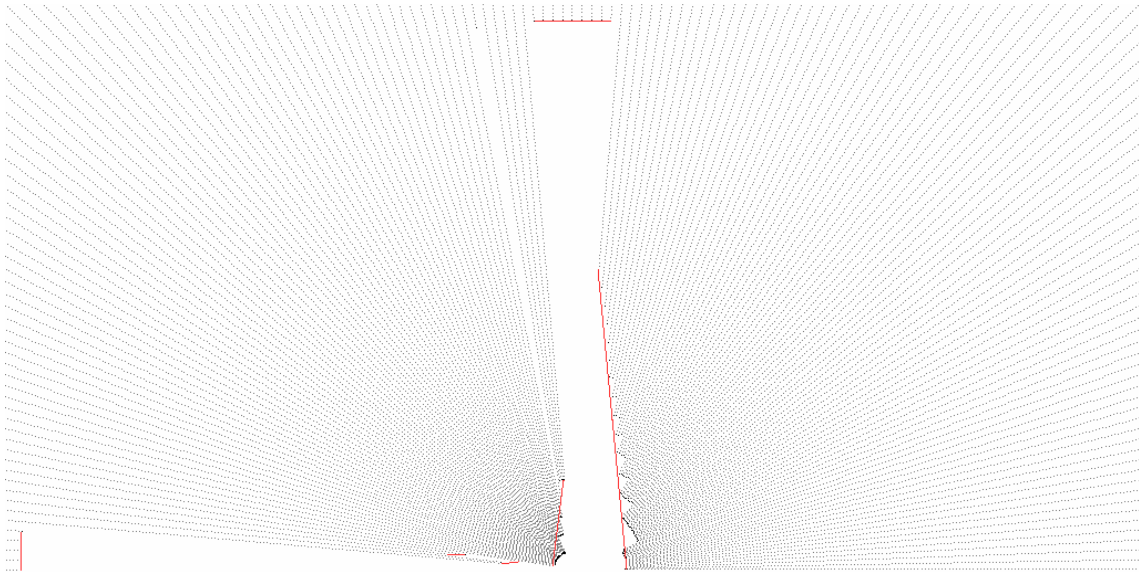


Figura 53: *Obstáculos detectados por el láser*

4.6 iCab

La plataforma usada para realizar el proyecto ha sido el iCab. Se ve aquí con bastante detalle ya que es el principal elemento del proyecto. El hardware se ve más por encima y se detalla más el software con todos los comandos con los que se puede manejar el iCab, ampliamente usados a la hora de elaborar el código [21], [22].

4.6.1 Hardware iCab

La arquitectura del iCab está dividida en tres bloques, física y funcionalmente separados que son:

1. Unidad de Tracción (UTRC):

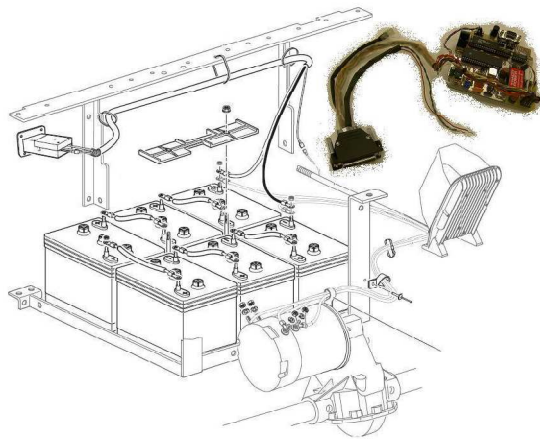


Figura 54: *Unidad de Tracción de iCab*

- Controla su alimentación de potencia y la de la Unidad de Dirección.
- En modo Manual: controla la tracción del vehículo (en lazo abierto), conforme lo manipule un usuario.
- En Modo Automático: controla la tracción del vehículo (en lazo cerrado), conforme a las órdenes enviadas desde el ordenador de control.
- Comunica a la unidad de Dirección, si existe algún problema en la unidad.

2. -Unidad de Dirección(UDIR):

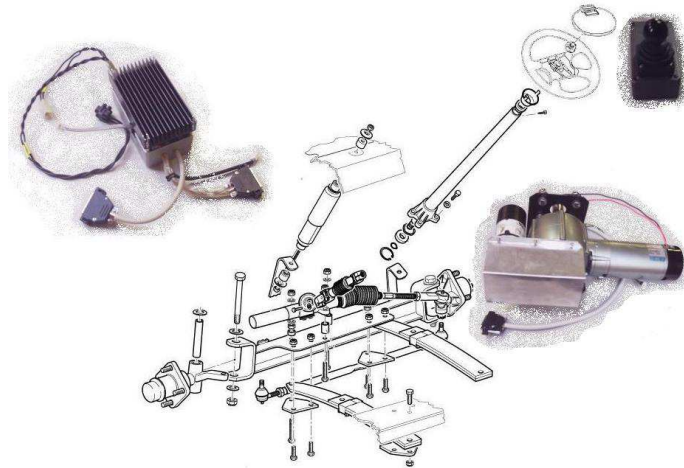


Figura 55: *Unidad de Dirección de iCab*

- En modo Automático: Controla la dirección del vehículo (en lazo cerrado), conforme a las órdenes recibidas del ordenador de control.
- En modo Manual: Controla la dirección del vehículo (en lazo abierto), según lo manipule el usuario.
- Comunica a la unidad de Tracción si hay algún problema en la unidad.

3. -Unidad de Comunicaciones(UCOM):

- Aísla eléctricamente las unidades de Tracción y Dirección del resto del sistema.
- Convierte las líneas RS485, que disponen las Unidades de Dirección y Tracción, en un único USB que facilita la conexión con el resto del sistema.



Figura 56: *Unidad de Comunicaciones del iCab*

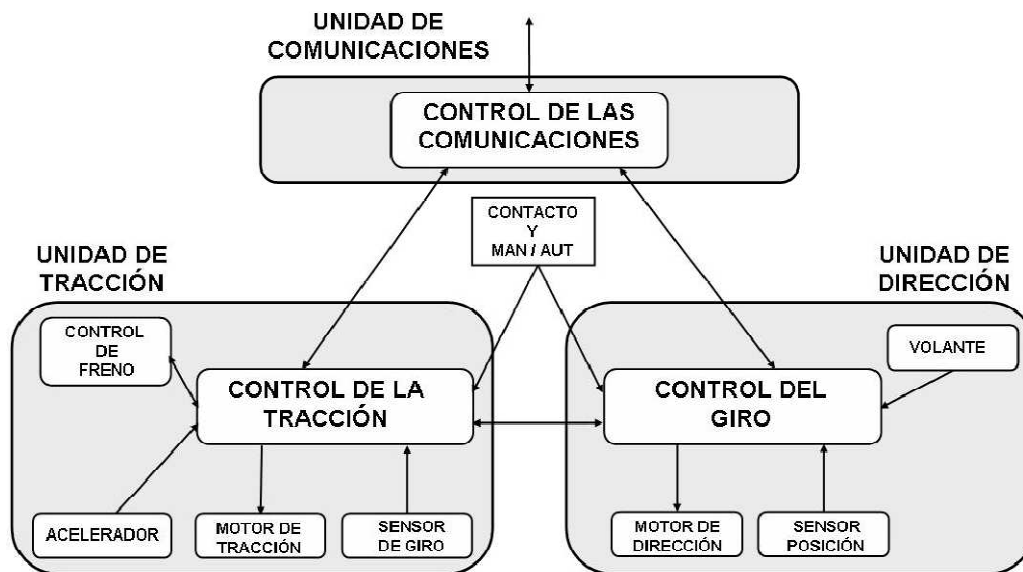


Figura 57: Esquema de bloques del iCab

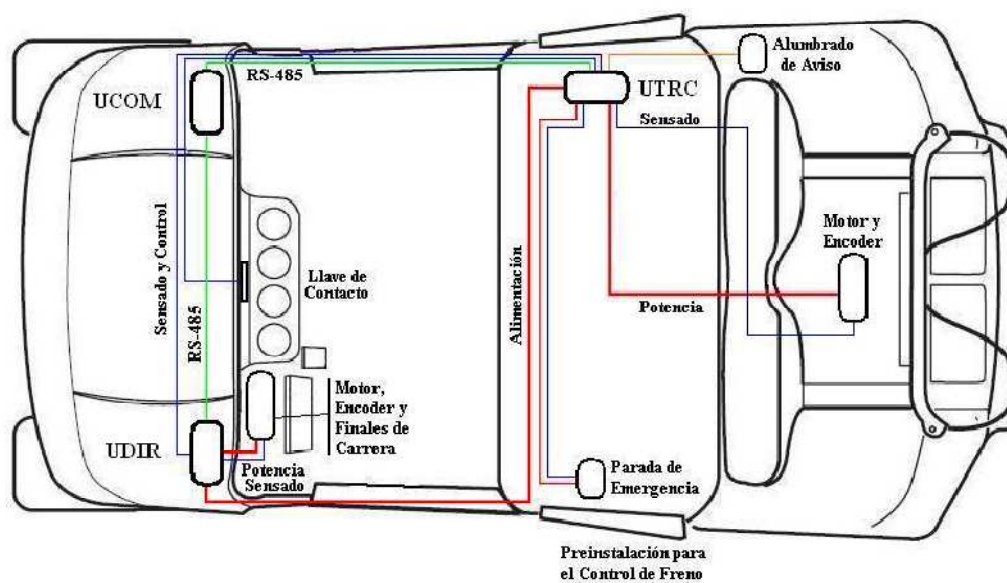


Figura 58: Ubicación de las unidades y tendido eléctrico en el iCab

4.6.2 Comunicaciones del iCab con el ordenador

El ordenador se comunica con el iCab mediante un puerto serie. Para conectarlo al ordenador se dispone de un convertidor Usb-Puerto serie (Convertidor Usb a 2x-RS-485). Al conectar este al PC aparecen dos puertos serie virtuales. Uno corresponde con la unidad de dirección y otro a la unidad de tracción. Los dos están configurados de la siguiente forma:

Velocidad de transmisión: 19200

Bit de Parada: 1

Paridad: NO

Control de flujo: NO

PROTOCOLO DE COMUNICACIONES

Los buses de comunicaciones entre el PC y las unidades de Dirección y tracción son RS-485. Estos buses son half dúplex, por lo tanto no se puede transmitir y recibir a la vez. Esto obliga a un protocolo Maestro-Esclavo, donde el maestro será el ordenador y esclavo las unidades de Tracción y Dirección. La iniciativa solo la podrá tomar el ordenador que enviará un comando a ejecutar. Las unidades contestarán siempre que reciban un comando. Esta respuesta será una cadena de texto con información útil acerca de los comandos enviados (si se han recibido bien, si ha habido algún error, alguna información pedida como velocidad, ángulo...).

Las unidades de Dirección y Tracción nunca tomarán la iniciativa. Esperan recibir una trama para dar la respuesta, cerrando así un ciclo de comunicación.

TRAMA ENVIADA

La trama enviada por el ordenador tiene que tener la siguiente estructura

“@XXSYYYCCC\n” , donde:

@-> carácter inicio de trama

XXX-> Campo comando, obligatorio y de longitud fija 3 caracteres.

S-> Campo signo de la consigna, opcional y de longitud fija 1 carácter. Podrá contener los caracteres '+' y '-'. En caso de no enviar este campo, se asignará el signo '+'.

YYYY-> Campo consigna. Opcional y de longitud libre 0-4 caracteres en el rango '0' – '9'.

CCC-> Campo checksum. Puede estar activado o desactivado. En caso de estar desactivado no existe. Si está activado es de longitud 3.

\n-> Carácter fin de trama.

RESPUESTA

La respuesta será una cadena de texto. El primer carácter será siempre "@".

COMANDOS DE LA UNIDAD DE DIRECCIÓN [23]

COMANDO	CONSIGNA	DESCRIPCIÓN
VER	---	Solicitud de nombre de unidad y versión del firmware instalada
RESPUESTA DE LA UNIDAD		DESCRIPCIÓN
iCab Control de Dirección v.101		Nombre y versión de la unidad

Tabla 6: Comando VER

COMANDO	CONSIGNA	DESCRIPCIÓN
VLC	0-100	Mueve la dirección hacia un lado indicado por el signo (izquierda negativos, derecha positivos), a una velocidad dada por consigna. Parará al llegar al final de carrera.

Tabla 7: Comando VCL

COMANDO	CONSIGNA	DESCRIPCIÓN
LEN	---	Devuelve el valor leído del encoder variará en el rango centro \pm giromaximo, siendo giromaximo el valor leído desde el comando @LZM modificable por el usuario con el comando @ZMX. El centro se considera el valor leído desde el comando @LCE modificable por el usuario para la puesta a punto con el comando @CEN.
RESPUESTA DE LA UNIDAD		
Devuelve el valor en pasos de encoder para la transformación a grados se tiene que realizar la siguiente operación: $^{\circ} = (Valor - Centro) \cdot 39.82$		

Tabla 8: Comando LEN

COMANDO	CONSIGNA	DESCRIPCIÓN
JOY	---	Lectura de joystick
RESPUESTA DE LA UNIDAD		
Devuelve la lectura del joystick referida al eje generado por la transformación descrita en @LEN. Devuelta en pasos del encoder.		

Tabla 9: Comando JOY

COMANDO	CONSIGNA	DESCRIPCIÓN
ANG	0-4500	Introduce el valor de ángulo para el algoritmo regulado si se trabaja en modo automático.
EJEMPLO DE USO		
@ANG2200 (22°), @ANG-221 (-2,21°), @ANG+022 (0,22°), @ang22(0,22°), @ang022(0,22°), @ang022(0,22°).		
RESPUESTA DE LA UNIDAD		
Si se trabaja en modo manual dará un mensaje advirtiéndole que no es la forma de interactuar con el sistema.		

Tabla 10: Comando ANG

COMANDO	CONSIGNA	DESCRIPCIÓN
VEL	0-100	Introduce el valor de velocidad para el algoritmo regulado si se trabaja en modo automático.
EJEMPLO DE USO		
@VEL22, @VEL022, @VEL0022, @vel22, @vel022, @vel0022		
NOTAS		
Velocidad siempre positiva. El sentido de giro lo da el ángulo. Si se trabaja en modo manual dará un mensaje advirtiéndole que no es la forma de interactuar con el sistema.		

Tabla 11: Comando VEL

COMANDO	CONSIGNA	DESCRIPCIÓN
VMX	0-100	Modifica el valor de rom de velocidad máxima.
EJEMPLO DE USO		
@VMX22, @VMX022, @VMX0022, @vmx22, @vmx022, @ vmx0022		
NOTAS		
El sistema tiene que estar en modo manual para poder realizar el cambio. El rango de valores aceptados es de 0-100		

Tabla 12: Comando VMX

COMANDO	CONSIGNA	DESCRIPCIÓN
LMV	---	Devuelve el valor leído de rom de velocidad máxima.
EJEMPLO DE USO		
@LVM		
NOTAS		
En porcentaje sobre la velocidad máxima.		

Tabla 13: Comando LMV

COMANDO	CONSIGNA	DESCRIPCIÓN
MDZ	0-100	Imponemos en la Rom el valor de la zona muerta (el error que permitimos al controlador a la hora de colocar las ruedas en su posición). Este valor es en pasos de encoder.
EJEMPLO DE USO		
@MDZ22, @MDZ022, @MDZ0022, @mdz22, @mdz022, @ mdz0022		
NOTAS		
La consigna introducida (xxxx) se tomara como $\pm xxxx$ y no como la zona total. El sistema tiene que estar en modo manual para poder realizar el cambio. El rango de valores aceptados es 0-100.		

Tabla 14: Comando MDZ

COMANDO	CONSIGNA	DESCRIPCIÓN
LDZ	---	Comando por el cual podemos conocer la zona muerta actual que tiene el controlador.
EJEMPLO DE USO		
@LDZ		
NOTAS		
En pasos de encoder.		

Tabla 15: Comando LDZ

COMANDO	CONSIGNA	DESCRIPCIÓN
ZMX	0-2000	Imponemos en la Rom el valor máximo de giro de las ruedas que permitimos mediante programación.
EJEMPLO DE USO		
@ZMX2200, @ MDZ 0220, @ MDZ 0022, @mdz2200, @ mdz 0220, @ mdz 0022		
NOTAS		
Se tienen que introducir 4 dígitos, Ej: @ZMX1200 corresponde a un giro máximo aproximado de 12,00°. La consigna introducida (xxxx) se tomara como $\pm xxxx$ desde el centro. El sistema tiene que estar en modo manual para poder realizar el cambio. El rango de valores aceptados es de 0-2000 (0 a 20°).		

Tabla 16: Comando ZMX

COMANDO	CONSIGNA	DESCRIPCIÓN
LZM	---	Se lee de rom el giro máximo permitido por software
EJEMPLO DE USO		
@LZM		
NOTAS		
En pasos del encoder		

Tabla 17: Comando LZ

COMANDO	CONSIGNA	DESCRIPCIÓN
CEN	1000-4000	Modifica el centro de las ruedas
EJEMPLO DE USO		
@CEN2200, @CEN0220, @CEN0022, @cen22, @cen022, @cen0022		
NOTAS		
El valor será introducido en pasos de encoder. El centro del encoder inicial es 2048 que corresponde en un principio al centro de las ruedas. El sistema tiene que estar en modo manual para poder realizar el cambio.		

Tabla 18: Comando CEN

COMANDO	CONSIGNA	DESCRIPCIÓN
LCE	---	Lee el centro que tiene en consigna.
EJEMPLO DE USO		
@LCE		
NOTAS		
El valor central de fábrica es 2048. En pasos de encoder		

Tabla 19: Comando LCE

COMANDO	CONSIGNA	DESCRIPCIÓN
JOV	15-85	Mediante este comando imponemos la velocidad a la que se mueven las ruedas en modo manual
EJEMPLO DE USO		
JOV22, @JOV20, @JOV02, @jov22, @jov20, @jov02		
NOTAS		
Del 1 al 99 % de la velocidad total. El sistema tiene que estar en modo manual para poder realizar el cambio.		

Tabla 20: Comando JOV

COMANDO	CONSIGNA	DESCRIPCIÓN
LJO	---	Miramos en rom la velocidad asignada al movimiento en modo manual
EJEMPLO DE USO		
@LJO		

Tabla 21: Comando LJO

COMANDO	CONSIGNA	DESCRIPCIÓN
AMX	1-10	Imponemos en la memoria Rom la aceleración máxima que tendrá la dirección en %
EJEMPLO DE USO		
, @AMX02, @AMX01, @amx22, @amx02		
NOTAS		
El sistema tiene que estar en modo manual para poder realizar el cambio.		

Tabla 22: Comando AMX

COMANDO	CONSIGNA	DESCRIPCIÓN
LAM	---	Leemos la aceleración máxima que tiene la dirección a la hora de realizar un movimiento
EJEMPLO DE USO		
@LAM		

Tabla 23: Comando LAM

COMANDO	CONSIGNA	DESCRIPCIÓN
MKD	1-255	Imponemos la constante derivativa que tiene implementado el PID
EJEMPLO DE USO		
@MKD1234		
NOTAS		
Se tienen que introducir 4 dígitos que se tomaran como un entero y 3 decimales. EJ @MKD1234 imponemos una $KD=1.234$. El sistema tiene que estar en modo manual para poder realizar el cambio.		

Tabla 24: Comando MKD

COMANDO	CONSIGNA	DESCRIPCIÓN
LKD	---	la constante derivativa que tiene implementado el PID
EJEMPLO DE USO		
@LKD		

Tabla 25: Comando LKD

COMANDO	CONSIGNA	DESCRIPCIÓN
MKI	1-255	Imponemos la constante integradora que tiene implementado el PID
EJEMPLO DE USO		
@MKI0001		
NOTAS		
Se tienen que introducir 4 dígitos que se tomaran como un entero y 3 decimales. EJ @MKI1234 imponemos una $KI=1.234$. El sistema tiene que estar en modo manual para poder realizar el cambio.		

Tabla 26: Comando MKI

COMANDO	CONSIGNA	DESCRIPCIÓN
LKI	---	Leemos la constante integradora que tiene implementado el PID
EJEMPLO DE USO		
@LKI		

Tabla 27: Comando LKI

COMANDO	CONSIGNA	DESCRIPCIÓN
MKP	1-255	Imponemos la constante proporcional que tiene implementado el PID
EJEMPLO DE USO		
@MKP0001		
NOTAS		
Se tienen que introducir 4 dígitos que se tomaran como un entero y 3 decimales. EJ @MKP1234 imponemos una KP=1.234. El sistema tiene que estar en modo manual para poder realizar el cambio.		

Tabla 28: Comando MKP

COMANDO	CONSIGNA	DESCRIPCIÓN
LKP	---	Leemos la constante proporcional que tiene implementado el PID
EJEMPLO DE USO		
@LKP		

Tabla 29: Comando LKP

COMANDO	CONSIGNA	DESCRIPCIÓN
ERR	---	Le pedimos al controlador que nos envíe los errores que tiene
EJEMPLO DE USO		
@ERR		
NOTAS		
<p>Nos envía por el puerto serie una cadena en binario indicando con 1's el tipo de error y 0's donde no exista dicho error: ABC123DEF.</p> <ul style="list-style-type: none"> • A: Joystick: Hay un problema relacionado con el joystick • B: Software: Salta cuando tenemos un error del tipo: Rom, NoSerie • C: Encoder: Hay un problema con el encoder, puede ser a la hora de la captura de datos. • 1: Rom: Hay un problema con los datos escritos en la memoria rom • 2: Hardware: Se ha producido un posible fallo en el conjunto encoder-motor o joystick. Este fallo salta acompañado de otros Salta cuando tenemos un error del tipo: NoMovimiento, Joystick, Encoder • 3: NoMovimiento: La dirección no se está moviendo cuando debería • D: NoSerie: No hemos recibido ningún mensaje a través del puerto serie • E: TraccionFallo: La tracción nos comunica que se ha producido un fallo • F: LlaveDesactivada: La llave del contacto no está en ON <p>Ej1: @ERR→000000000 no hay ningún error</p> <p>Ej2: @ERR→010000100 En dos segundos no ha llegado ningún mensaje valido a través del puerto serie, este error ha desencadenado un error software</p>		

Tabla 30: Comando ERR

COMANDO	CONSIGNA	DESCRIPCIÓN
ROM	---	Rescribe los datos por defecto en la rom
EJEMPLO DE USO		
@ROM		
NOTAS		
El sistema tiene que estar en modo manual para poder realizar el cambio		

Tabla 31: Comando ROM

COMANDO	CONSIGNA	DESCRIPCIÓN
HLT	---	Detiene cualquier movimiento que estemos realizando
EJEMPLO DE USO		
@HLT		

Tabla 32: Comando HLT

COMANDO	CONSIGNA	DESCRIPCIÓN
STT	---	Nos dice en el estado en que esta el control de dirección (Manual/Automático)
EJEMPLO DE USO		
@STT		

Tabla 33: Comando STT

COMANDOS DE LA UNIDAD DE TRACCIÓN

COMANDO	CONSIGNA	DESCRIPCIÓN
“Desconocido”	“Cualquiera”	Comando desconocida
RESPUESTA DE LA UNIDAD		DESCRIPCIÓN
M04 Comando Desconocido		No se conoce comando

Tabla 34: Comando desconocido

COMANDO	CONSIGNA	DESCRIPCIÓN
VER	---	Solicitud de nombre de unidad y versión del firmware
RESPUESTA DE LA UNIDAD		DESCRIPCIÓN
iCab Control Tracción V1.1		Nombre y versión de la unidad
M03 Error Checksum		Se ha detectado error en el checksum de la trama enviada

Tabla 35: Comando VER

COMANDO	CONSIGNA	DESCRIPCIÓN
CCK	0-1	Habilita (1) o deshabilita (0) el uso del campo checksum en las tramas de transmisión y recepción.
RESPUESTA DE LA UNIDAD		DESCRIPCIÓN
M00 Comando Aceptado		El comando se ha recibido correctamente y se ha aceptado
M01 Falta el campo consigna		No se ha recibido consigna en el mensaje
M02 Campo Consigna sin formato		El campo Consigna no es 0 o 1
M03 Error Checksum		Se ha detectado error en el checksum de la trama enviada
M09 Emergencia. Ejecutar OFL		La unidad se encuentra en estado de emergencia

Tabla 36: Comando CCK

- Configuración del regulador. La Unidad de Control efectúa un control en lazo cerrado de la velocidad. Con estos comandos se configuran los parámetros del regulador. Con CRK se configura la ganancia proporcional y con CRI la ganancia integral. Si los comandos son aceptados, las consignas se almacenan en memoria no volátil, cargando estos valores en la inicialización del sistema.

COMANDO	CONSIGNA	DESCRIPCIÓN
CRK	0000-5000	Valor en milésimas de la ganancia proporcional del regulador. Ganancia entre 0 y 5. El valor queda almacenado en memoria no volátil.
RESPUESTA DE LA UNIDAD		DESCRIPCIÓN
M00 Comando Aceptado		El comando se ha recibido correctamente y se ha aceptado
M01 Falta el campo consigna		No se ha recibido consigna en el mensaje
M02 Campo Consigna sin formato		El campo Consigna no está entre 0 y 5000
M03 Error Checksum		Se ha detectado error en el checksum de la trama enviada
M09 Emergencia. Ejecutar OFL		La unidad se encuentra en estado de emergencia
M10 Ejecutar con coche parado		El vehículo debe estar parado para aceptar este comando
M11 Fallo de escritura EEPROM		Fallo al almacenar el valor en la memoria.

Tabla 37: Comando CRK

COMANDO	CONSIGNA	DESCRIPCIÓN
CRI	0000-5000	Valor en milésimas de la ganancia integral del regulador. Ganancia entre 0 y 5. El valor queda almacenado en memoria no volátil.
RESPUESTA DE LA UNIDAD		DESCRIPCIÓN
M00 Comando Aceptado		El comando se ha recibido correctamente y se ha aceptado
M01 Falta el campo consigna		No se ha recibido consigna en el mensaje
M02 Campo Consigna sin formato		El campo Consigna no está 0 y 5000
M03 Error Checksum		Se ha detectado error en el checksum de la trama enviada
M09 Emergencia. Ejecutar OFL		La unidad se encuentra en estado de emergencia
M10 Ejecutar con coche parado		El vehículo debe estar parado para aceptar este comando
M11 Fallo de escritura EEPROM		Fallo al almacenar el valor en la memoria.

Tabla 38: *Comando CRI*

- Límite de velocidad. Mediante estos comandos se configuran los límites de velocidad del vehículo. Con CMV se configura, para el Modo de Funcionamiento Manual, la velocidad del vehículo en el final de carrera del acelerador (pedal a fondo). En el Modo de Funcionamiento Automático, cualquier consigna de velocidad en operación que supere el umbral establecido con CVA no será aceptada. Si los comandos son aceptados, las consignas se almacenarán en memoria no volátil, cargando estos valores en la inicialización del sistema.

COMANDO	CONSIGNA	DESCRIPCIÓN
CVM	0030-0400	Límite de velocidad en cm/s alcanzable en operación para el Modo de Funcionamiento Manual. El valor queda almacenado en memoria no volátil.
RESPUESTA DE LA UNIDAD		DESCRIPCIÓN
M00 Comando Aceptado		El comando se ha recibido correctamente y se ha aceptado
M01 Falta el campo consigna		No se ha recibido consigna en el mensaje
M02 Campo Consigna sin formato		El campo Consigna no está entre 30 y 400.
M03 Error Checksum		Se ha detectado error en el checksum de la trama enviada
M09 Emergencia. Ejecutar OFL		La unidad se encuentra en estado de emergencia
M10 Ejecutar con coche parado		El vehículo debe estar parado para aceptar este comando
M11 Fallo de escritura EEPROM		Fallo al almacenar el valor en la memoria.

Tabla 39: Comando CVM

COMANDO	CONSIGNA	DESCRIPCIÓN
CVA	0030-0400	Límite de velocidad en cm/s alcanzable en operación para el Modo de Funcionamiento Automático. El valor queda almacenado en memoria no volátil.
RESPUESTA DE LA UNIDAD		DESCRIPCIÓN
M00 Comando Aceptado		El comando se ha recibido correctamente y se ha aceptado
M01 Falta el campo consigna		No se ha recibido consigna en el mensaje
M02 Campo Consigna sin formato		El campo Consigna no está entre 30 y 400.
M03 Error Checksum		Se ha detectado error en el checksum de la trama enviada
M09 Emergencia. Ejecutar OFL		La unidad se encuentra en estado de emergencia
M10 Ejecutar con coche parado		El vehículo debe estar parado para aceptar este comando
M11 Fallo de escritura EEPROM		Fallo al almacenar el valor en la memoria.

Tabla 40: Comando CVA

- Límite de aceleración. Mediante estos comandos se configuran los límites de aceleración del vehículo. En el Modo de Funcionamiento Manual, por medio de CAM, se limita la velocidad con la que varía la consigna entregada por el acelerador. En el Modo de Funcionamiento Automático, cualquier consigna de aceleración que supere el umbral establecido por CAA no será aceptada. Si los comandos son aceptados, las consignas se almacenarán en memoria no volátil, cargando estos valores en la inicialización del sistema.

COMANDO	CONSIGNA	DESCRIPCIÓN
CAM	0020-0150	Aceleración en cm/s^2 en el Modo de Funcionamiento Manual. El valor queda almacenado en memoria no volátil.
RESPUESTA DE LA UNIDAD		DESCRIPCIÓN
M00 Comando Aceptado		El comando se ha recibido correctamente y se ha aceptado
M01 Falta el campo consigna		No se ha recibido consigna en el mensaje
M02 Campo Consigna sin formato		El campo Consigna no es numérico o no está entre 20 y 150.
M03 Error Checksum		Se ha detectado error en el checksum de la trama enviada
M09 Emergencia. Ejecutar OFL		La unidad se encuentra en estado de emergencia
M10 Ejecutar con coche parado		El vehículo debe estar parado para aceptar este comando
M11 Fallo de escritura EEPROM		Fallo al almacenar el valor en la memoria.

Tabla 41: Comando CAM

COMANDO	CONSIGNA	DESCRIPCIÓN
CAA	0020-0150	Límite de aceleración en cm/s^2 alcanzable en operación en el Modo de Funcionamiento Automático. El valor queda almacenado en memoria no volátil.
RESPUESTA DE LA UNIDAD		DESCRIPCIÓN
M00 Comando Aceptado		El comando se ha recibido correctamente y se ha aceptado
M01 Falta el campo consigna		No se ha recibido consigna en el mensaje
M02 Campo Consigna sin formato		El campo Consigna no es numérico o no está entre 20 y 150.
M03 Error Checksum		Se ha detectado error en el checksum de la trama enviada
M09 Emergencia. Ejecutar OFL		La unidad se encuentra en estado de emergencia
M10 Ejecutar con coche parado		El vehículo debe estar parado para aceptar este comando
M11 Fallo de escritura EEPROM		Fallo al almacenar el valor en la memoria.

Tabla 42: Comando CAA

-Tiempo de enclavamiento del freno automático. Mediante el comando CFT se informa a la Unidad de Tracción del tiempo que tarda el módulo de freno en enclavar y desenclavar.

COMANDO	CONSIGNA	DESCRIPCIÓN
CFT	0000-9999	Tiempo en ms que tarda en actuar el freno automático. 0 deshabilita el uso del freno automático. El valor queda almacenado en memoria no volátil.
RESPUESTA DE LA UNIDAD		DESCRIPCIÓN
M00 Comando Aceptado		El comando se ha recibido correctamente y se ha aceptado
M01 Falta el campo consigna		No se ha recibido consigna en el mensaje
M02 Campo Consigna sin formato		El campo Consigna no es numérico o no está entre 0 y 9999.
M03 Error Checksum		Se ha detectado error en el checksum de la trama enviada
M09 Emergencia. Ejecutar OFL		La unidad se encuentra en estado de emergencia
M10 Ejecutar con coche parado		El vehículo debe estar parado para aceptar este comando
M11 Fallo de escritura EEPROM		Fallo al almacenar el valor en la memoria.

Tabla 43: Comando CFT

-Operación. Mediante estos comandos se gobierna la Unidad de Tracción y se obtiene información de su estado.

- Aceleración de trabajo. OAC establece la aceleración máxima de trabajo para el Modo de Funcionamiento Automático. Cuando se reciba una nueva consigna de velocidad, se alcanzará con una aceleración limitada por ese valor. Si la consigna de aceleración supera el máximo configurado por el comando CAA, este comando no será aceptado.

COMANDO	CONSIGNA	DESCRIPCIÓN
OAC	0020-0150	Aceleración de trabajo en cm/s^2 .
RESPUESTA DE LA UNIDAD		DESCRIPCIÓN
M00 Comando Aceptado		El comando se ha recibido correctamente y se ha aceptado
M01 Falta el campo consigna		No se ha recibido consigna en el mensaje
M02 Campo Consigna sin formato		El campo Consigna no es numérico o no está entre 20 y 150.
M03 Error Checksum		Se ha detectado error en el checksum de la trama enviada
M06 Aceleración excede del máximo		La consigna supera el máximo establecido con CVA
M07 No aceptado en Modo Manual		El vehículo se encuentra en Modo de Funcionamiento Manual
M09 Emergencia. Ejecutar OFL		La unidad se encuentra en estado de emergencia

Tabla 44: *Comando OAC*

- Velocidad de trabajo. Mediante el comando OVL se cambia la velocidad del vehículo en el Modo de Funcionamiento Automático. Las consignas positivas indican marcha adelante y las negativas marcha atrás. La Unidad de Tracción no permite el cambio de sentido de marcha sin pasar antes por velocidad cero. En caso de que así se solicite, el vehículo se detendrá y mandará un mensaje que lo indique. Si el valor absoluto de la consigna de velocidad supera el máximo configurado por CVA este comando no será aceptado.

COMANDO	CONSIGNA	DESCRIPCIÓN
OVL	-0400 a -0030, 0 , 0030 a 0400	Consigna de velocidad en cm/s. valores positivos indican marcha adelante. Valores negativos indican marcha atrás. 0 detiene el vehículo
RESPUESTA DE LA UNIDAD		DESCRIPCIÓN
M00 Comando Aceptado		El comando se ha recibido correctamente y se ha aceptado
M01 Falta el campo consigna		No se ha recibido consigna en el mensaje
M02 Campo Consigna sin formato		El campo Consigna no es numérico o no está en rango.
M03 Error Checksum		Se ha detectado error en el checksum de la trama enviada
M05 Velocidad excede del máximo		La consigna supera el máximo establecido con CVA
M07 No aceptado en Modo Manual		El vehículo se encuentra en Modo de Funcionamiento Manual
M08 Poner Llave de Contacto		La llave de contacto se encuentra desactivada
M09 Emergencia. Ejecutar OFL		La unidad se encuentra en estado de emergencia
M10 Ejecutar con coche parado		No se permite cambio de sentido de marcha sin antes pasar por velocidad 0

Tabla 45: *Comando OVL*

-Lectura de velocidad. Mediante el comando OOV se puede conocer la velocidad instantánea del vehículo. Esta velocidad es la medida por el encoder de la Unidad de tracción y corresponde a la velocidad en el eje longitudinal del vehículo.

COMANDO	CONSIGNA	DESCRIPCIÓN
OOV	---	Lectura de velocidad instantánea en cm/s
RESPUESTA DE LA UNIDAD		DESCRIPCIÓN
M03 Error Checksum		Se ha detectado error en el checksum de la trama enviada
M09 Emergencia. Ejecutar OFL		La unidad se encuentra en estado de emergencia
Velocidad SXXXX cm/s		Velocidad instantánea en cm/s. S representa el signo, positivo si el vehículo se mueve hacia adelante y negativo si se mueve marcha atrás.

Tabla 46: Comando OOV

-Lectura del espacio recorrido. Mediante el comando OOE se puede conocer el espacio neto recorrido por el vehículo. Este espacio es el medido por el encoder de la Unidad de Tracción. También es posible resetear el contador para ubicar un nuevo 0. Si el comando no va acompañado de una consigna, la Unidad devuelve el espacio recorrido. Si la consigna es 0 se resetea el contador.

COMANDO	CONSIGNA	DESCRIPCIÓN
OOE	---	Lectura del espacio neto recorrido en cm
RESPUESTA DE LA UNIDAD		DESCRIPCIÓN
M03 Error Checksum		Se ha detectado error en el checksum de la trama enviada
M09 Emergencia. Ejecutar OFL		La unidad se encuentra en estado de emergencia
Recorridos SXXXXXXXX cm		Espacio recorrido, donde SXXXXXXXX está en el rango -20000000 y 20000000 (-200 a 200km)

Tabla 47: Comando OOE

COMANDO	CONSIGNA	DESCRIPCIÓN
OOE	0	Reset del contador del espacio recorrido.
RESPUESTA DE LA UNIDAD		DESCRIPCIÓN
M00 Comando aceptado		El comando se ha recibido correctamente y se ha aceptado
M02 Campo consigna sin formato		El campo consigna no es 0
M03 Error Checksum		Se ha detectado error en el checksum de la trama enviada
M09 Emergencia. Ejecutar OFL		La unidad se encuentra en estado de emergencia

Tabla 48: *Comando OOE*

-Parada de emergencia. El comando OST provoca la parada de emergencia del vehículo.

COMANDO	CONSIGNA	DESCRIPCIÓN
OST	---	Parada de emergencia del vehículo.
RESPUESTA DE LA UNIDAD		DESCRIPCIÓN
M00 Comando aceptado		El comando se ha recibido correctamente y se ha aceptado
M03 Error Checksum		Se ha detectado error en el checksum de la trama enviada

Tabla 49: *Comando OST*

-Lectura de fallo. La Unidad de Tracción supervisa continuamente su estado. En caso de que se detecte un fallo grave en alguno de sus módulos, provoca una situación de emergencia, que desemboca en la parada del vehículo. Mediante el comando OFL se puede conocer el fallo que ha provocado esa situación. Si el fallo producido no es de gravedad (warning), no se procede a la parada del vehículo, pero si se notifica.

COMANDO	CONSIGNA	DESCRIPCIÓN
OFL	---	Solicitud de descripción del fallo que ha producido el estado de emergencia.
RESPUESTA DE LA UNIDAD		DESCRIPCIÓN
M03 Error Checksum		Se ha detectado error en el checksum de la trama enviada
F00 No se ha detectado fallo		El vehículo no se encuentra en estado de emergencia o ya se ha notificado un warning.
F01 Fallo Solenoide		Fallo en el solenoide de control de potencia
F02 Fallo Encoder		Fallo en el encoder de medida de velocidad del motor
F03 I de campo excesiva		Corriente excesiva en la bobina del campo del motor.
F04 I Armadura Excesiva o Bloqueo		Corriente excesiva en la bobina de armadura del motor o el vehículo se encuentra bloqueado.
F05 Temperatura del driver excesiva		Temperatura crítica en el driver del motor de tracción.
F06 Cargar Batería		Tensión de batería crítica.
F07 Parada de Emergencia Activa		Se ha activado la parada de emergencia (seta o comando OST)
F08 Pérdida de conexión con PC		Estando el vehículo en movimiento han transcurrido 2 segundos sin recibir ninguna trama válida desde el ordenador de control.
F09 Fallo Externo (Dirección)		Se ha deshabilitado la tracción desde el exterior
F10 Fallo Freno		Se ha detectado un fallo en la operación del freno automático.
F11 Warning temperatura Driver		Temperatura del Driver de tracción elevada
F12 Warning Batería Baja		Tensión de batería baja.

Tabla 50: Comando OFL

-Desactivación del indicador sonoro. Mediante el comando OBE se puede activar y desactivar el indicador sonoro en el Modo de Funcionamiento Automático. La indicación sonora de warning o fallo no se puede desactivar mediante este comando.

COMANDO	CONSIGNA	DESCRIPCIÓN
OBE	0-1	Habilita (1) o deshabilita (0) la indicación sonora del Modo de Funcionamiento Automático
RESPUESTA DE LA UNIDAD		DESCRIPCIÓN
M00 Comando Aceptado		El comando se ha recibido correctamente y se ha aceptado
M01 Falta el campo consigna		No se ha recibido consigna en el mensaje
M02 Campo Consigna sin formato		El campo Consigna no es 0 ó 1.
M03 Error Checksum		Se ha detectado error en el checksum de la trama enviada
M07 No aceptado en Modo Manual		El vehículo se encuentra en Modo de Funcionamiento Manual
M09 Emergencia. Ejecutar OFL		La unidad se encuentra en estado de emergencia

Tabla 51: *Comando OBE*

Capítulo 5: Desarrollo

5.1 Descripción detallada del Sistema

El primer objetivo de este proyecto fue que el iCab se desplazara de forma autónoma con la única información exterior de su posición, dirección y de la trayectoria que debería seguir.

El iCab llegará de un punto a otro controlando las salidas que debe tener en todo momento. Estas salidas son 2: la velocidad y el ángulo de giro de las ruedas. Dando los valores apropiados a estas 2 variables el iCab irá por donde deseemos. La cosa no es tan fácil, ya que saber el valor apropiado en cada instante se convierte en un problema muy complejo.

La idea básica era que fuera capaz de ir de un punto a otro. Para ello se seguiría la siguiente estrategia: primero tiene que alinearse con el punto de destino. Una vez alineado basta con ir recto hasta llegar a él. Ahora la complicación residía en alinearse con un punto en concreto. Para ello se aplicó el siguiente algoritmo:

- 1- Se parte de 2 puntos (punto inicial y final) dados en coordenadas geográficas (latitud, longitud).
- 2- Estos puntos se transforman a coordenadas UTM.
- 3- Una vez en UTM se calcula la distancia y la dirección entre ellos.

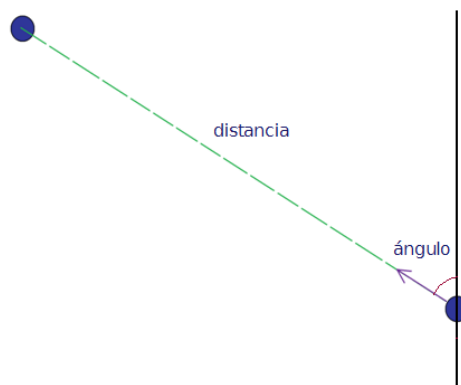


Figura 59: Distancia y ángulo entre 2 puntos

- 4- Se compara la dirección de la recta que une los 2 puntos con la dirección actual del iCab.

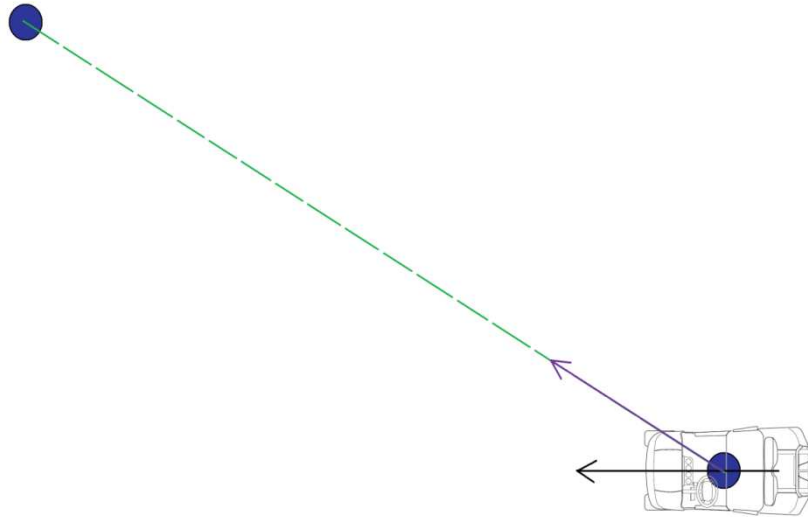


Figura 60: El objetivo del algoritmo es alinear el iCab con el siguiente punto

- 5- Mediante lógica difusa se halla una velocidad y un ángulo de giro de las ruedas que depende de la distancia entre los 2 puntos y del ángulo que tiene que girar el iCab para alinearse con el punto de destino.

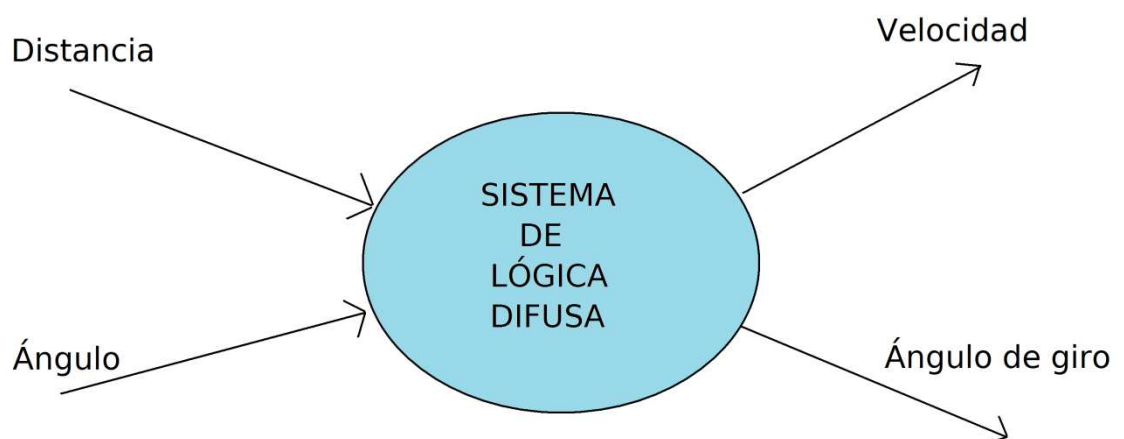


Figura 61: Sistema de lógica difusa. A partir de las variables de entrada distancia y ángulo se obtienen las variables de salida velocidad y ángulo de giro

- 6- El punto inicial va cambiando según avanza el iCab. Con el nuevo punto inicial se vuelve a calcular todo y se introducen las nuevas variables de salida.

- 7- Una vez que el iCab está alineado se deja de girar y se avanza recto hasta el punto de destino.
- 8- Una vez llegado al punto de destino se coge el siguiente punto como destino y así va pasando por todos los puntos de la trayectoria hasta llegar al último.

Al probar el algoritmo se vio que debido a la falta de precisión del GPS, el iCab no llegaba a su destino, desviándose de la trayectoria en muchas ocasiones. En la imagen de abajo se muestra las posiciones devueltas por el GPS al realizar un recorrido similar. Se puede observar que en la imagen superior los datos obtenidos son bastante fiables. Analizándola con más detalle se calcula un error máximo de hasta 4 metros. En la imagen inferior el error es muy significativo, pudiendo llegar hasta los 20 metros.

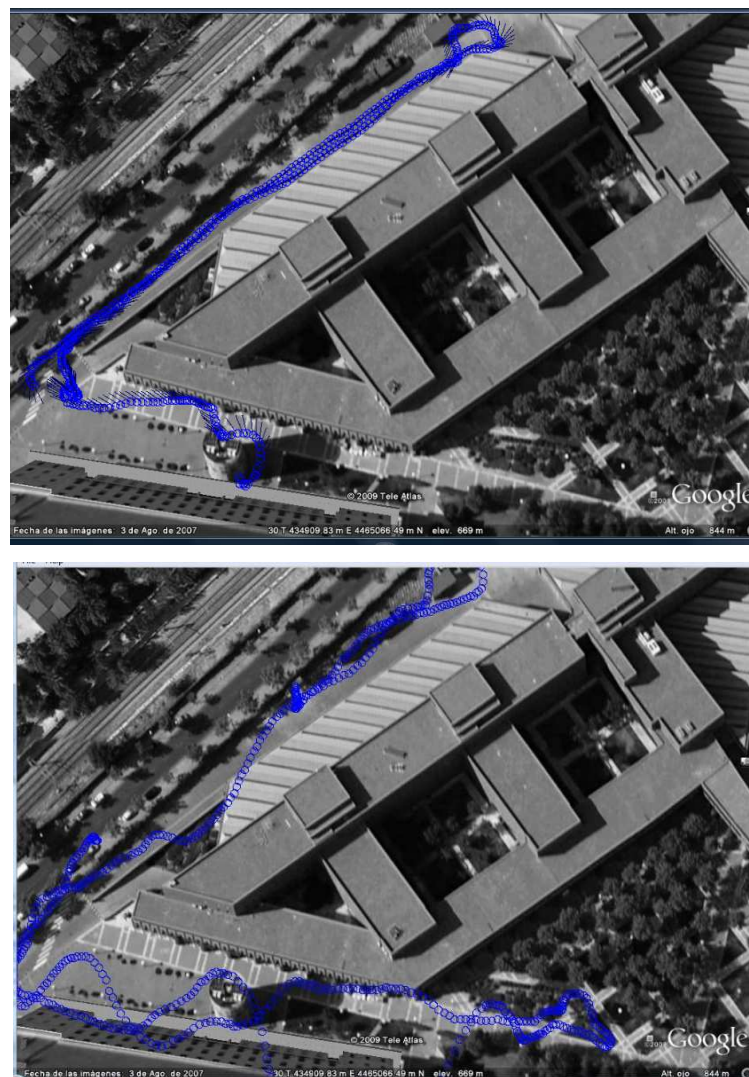


Figura 62: Posición que devuelve el MTi-G al hacer dos veces un recorrido similar

Se decidió incorporar el laser al proyecto. Este evita que el iCab colisiones con obstáculos, tanto móviles como fijos. El coche seguiría guiándose por el GPS pero el láser corrige la trayectoria para que no se choque con paredes, árboles, personas. Si se ve rodeado de obstáculos se detendrá hasta que estos se quiten y si no se quitan no se moverá ya que de momento no está contemplado que pueda dar marcha atrás.

Se pensó hacer unas zonas de proximidad de obstáculos. Se designaron 3 zonas:

1. Zona de proximidad izquierda

Objeto detectado a la izquierda. Peligro de colisión si se sigue el rumbo actual. El iCab debe girar a la derecha para evitarlo.

2. Zona de proximidad derecha

Objeto detectado a la derecha. Peligro de colisión si se sigue el rumbo actual. El iCab debe girar a la izquierda para evitarlo.

3. Zona de colisión

Detectado obstáculo delante del vehículo. Debe parar para no chocar y esperar que la zona quede despejada.

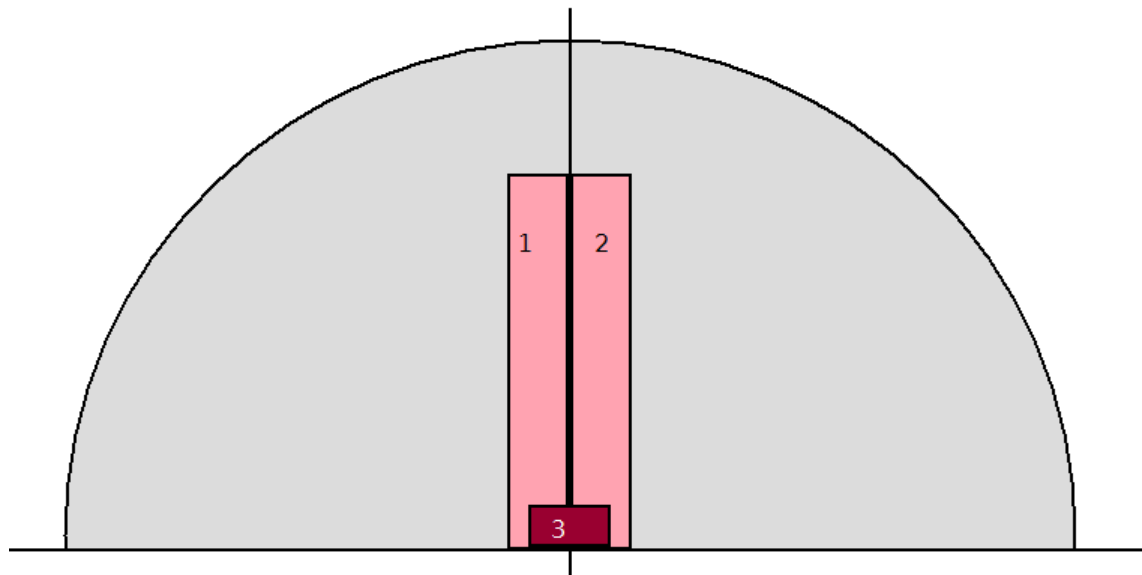


Figura 63: Zonas de "peligro" del laser

5.2 Diagrama de Flujo

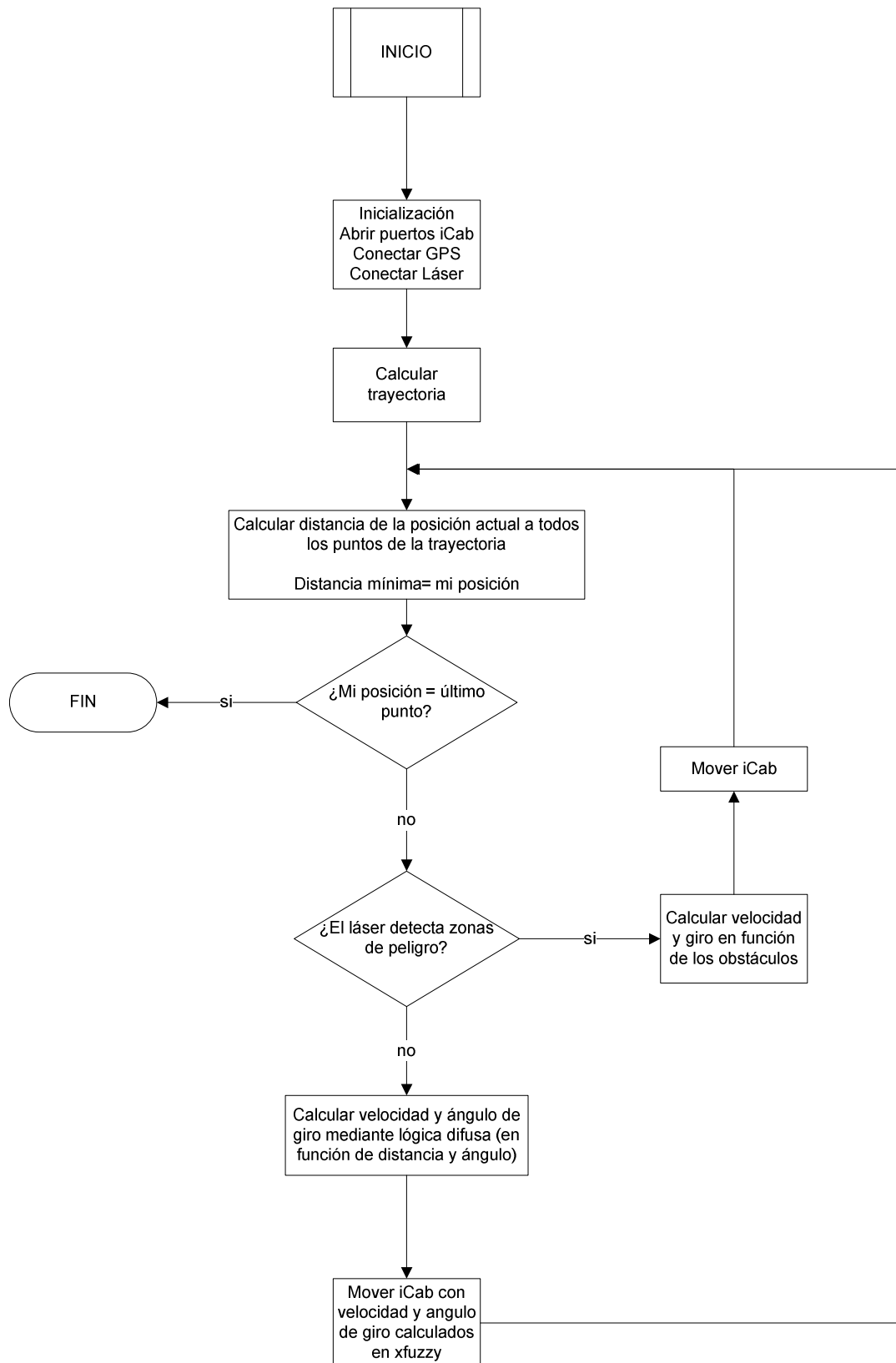


Diagrama 1: *Diagrama de flujo general*

5.3 Explicación Diagrama de Flujo General

1-. Dado un punto de destino, se calcula la trayectoria entre la posición actual (dada por el GPS) y el punto de destino.

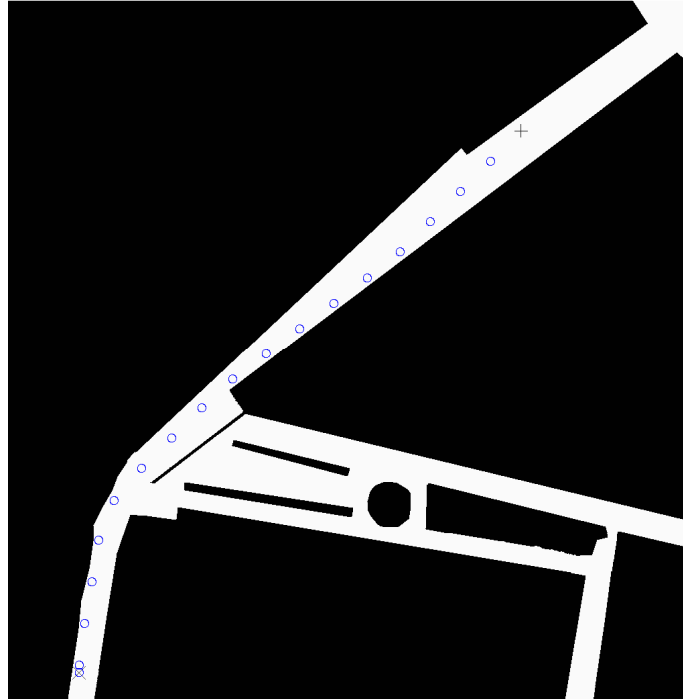


Figura 64: *Obtención de la trayectoria*

2-. Se calcula la distancia de la posición de la posición actual (dada por el GPS) a todos los puntos de la trayectoria. El valor mínimo será el punto en el que me encuentro y el objetivo será ir al siguiente punto.

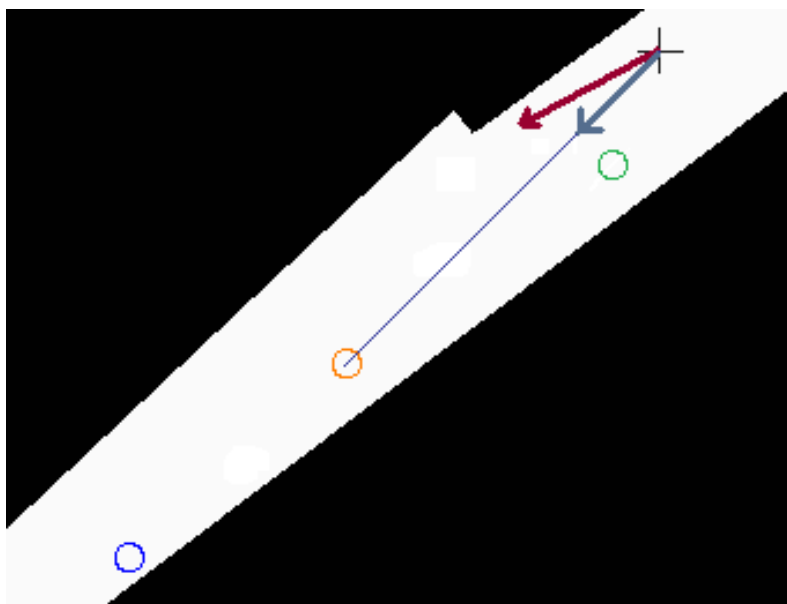


Figura 65: *Cálculo de la distancia y el ángulo. En verde posición actual y en naranja siguiente punto*

3-. En función de la distancia y el ángulo que falta para la alineación se calcula un ángulo de giro y una velocidad.

4-. Se analizan los datos del láser. Si hay “camino libre” se mueve el iCab con los datos obtenidos en 3. Si hay obstáculos se calculan un nuevo ángulo de giro y una velocidad para no colisionar en función de los obstáculos.

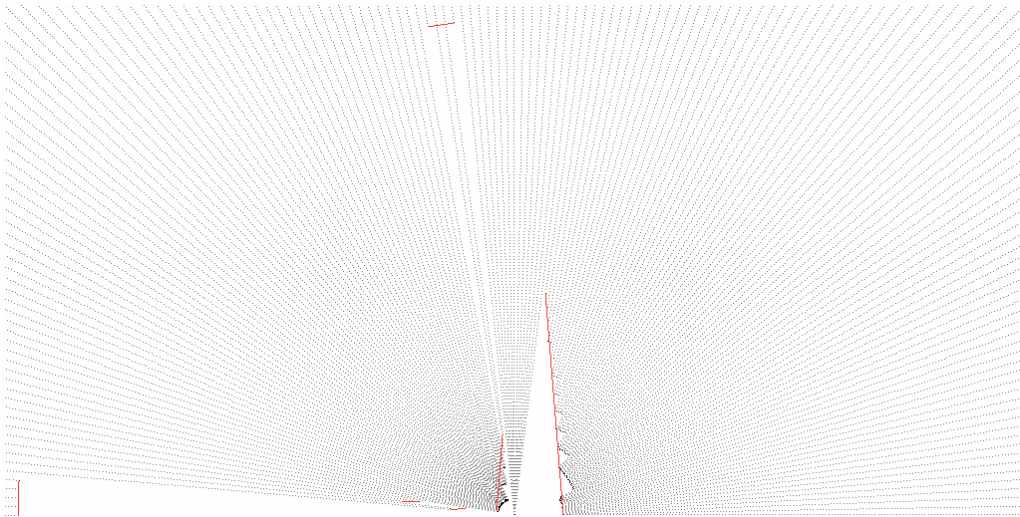


Figura 66: Mapa de obstáculos obtenidos por el láser

Para ello se tienen en cuenta los siguientes casos:

- Caso 1: No hay obstáculos en ninguna de las 3 zonas de peligro. En este caso se obedece a la señal de GPS.

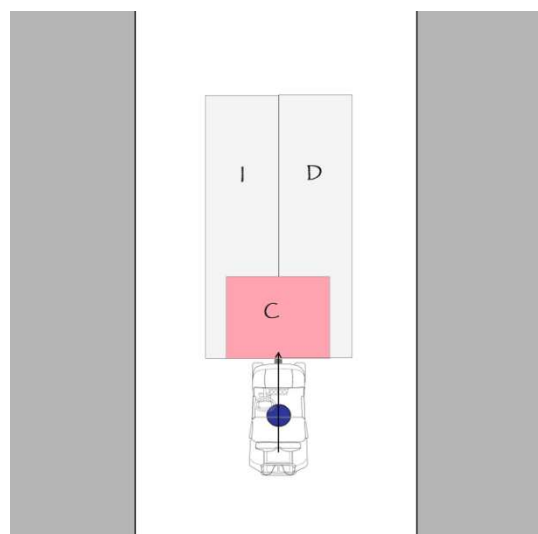


Figura 67: Caso1. No se detectan obstáculos

- Caso 2: Detecta varios puntos en la zona de peligro derecha (D en la figura). El iCab girará a la izquierda para evitar el obstáculo.

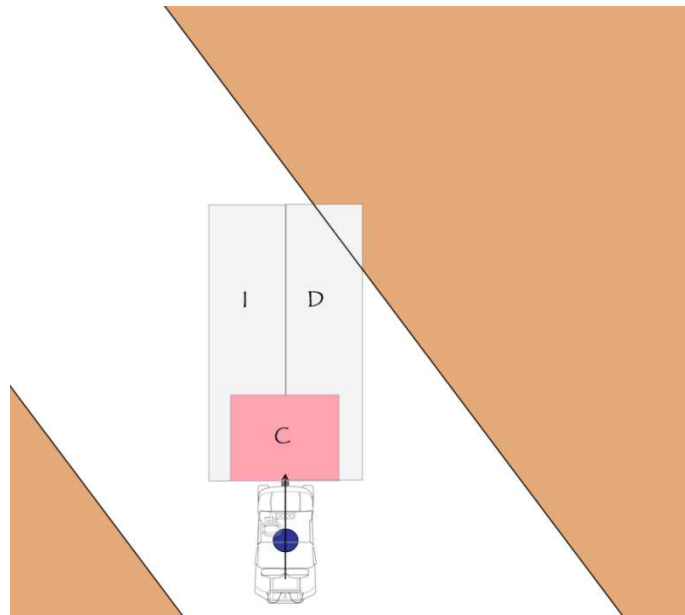


Figura 68: Caso 2. Detección de obstáculo en zona derecha (D)

Este caso tiene uno similar pero con detección en la zona izquierda.

- Caso 3: Detección de obstáculo en la zona central. Da igual que también se detecte en cualquier otra zona. El iCab se detendrá

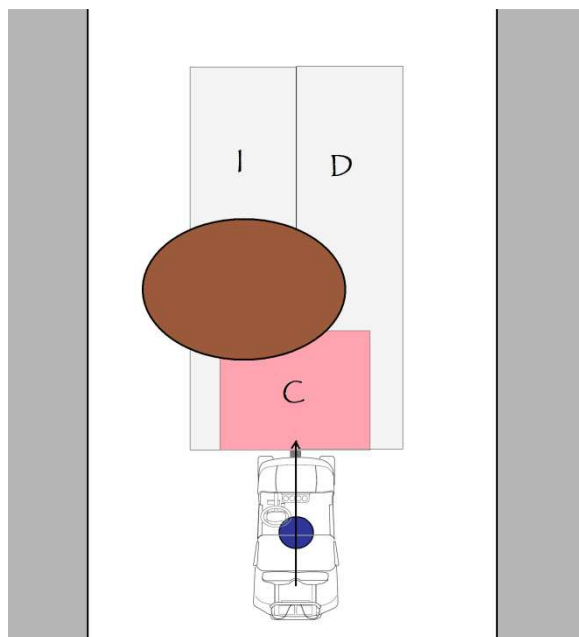


Figura 69: Caso 3. Detección de obstáculo en la zona central (C)

- Caso 4: Detección de obstáculo de la misma “magnitud” en zona derecha e izquierda. Obstáculo más cercano en zona derecha. El iCab girará a la izquierda

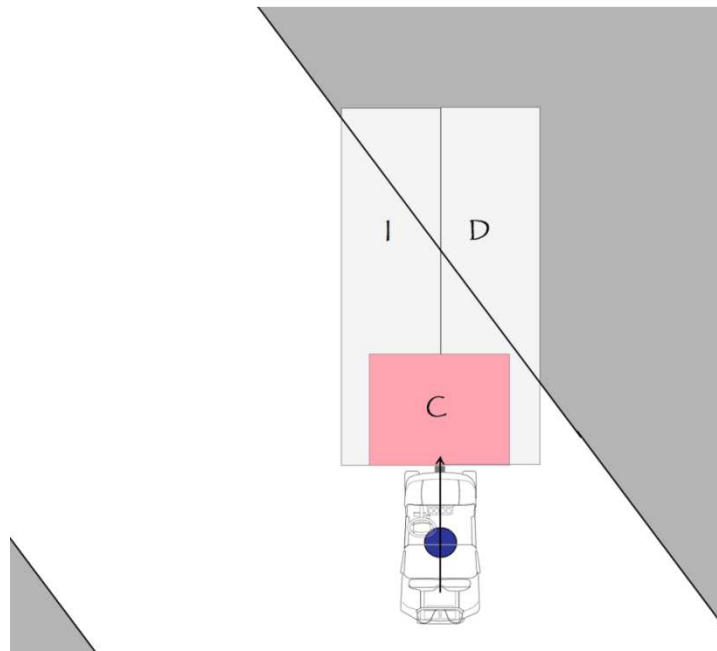


Figura 70: Caso 4. Detección de obstáculo en zonas Derecha e Izquierda 1

- Caso 5: Detección de obstáculo en zona derecha e izquierda. Una de ellas detecta más puntos que la otra. El iCab girará hacia el lado en el que menos puntos se detecten.

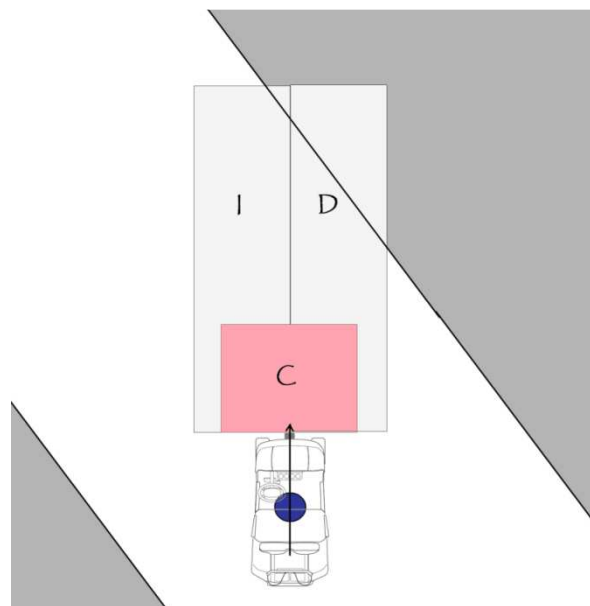


Figura 71: Caso 5. Detección de obstáculo en zonas izquierda y derecha 2

- Caso 6: Detección de un obstáculo en zonas derecha e izquierda de la misma “magnitud” y distancias similares. El iCab se detendrá y esperará hasta que se vaya. Si no se mueve en un tiempo predeterminado girará hacia el lado que menos puntos detectados tenga.

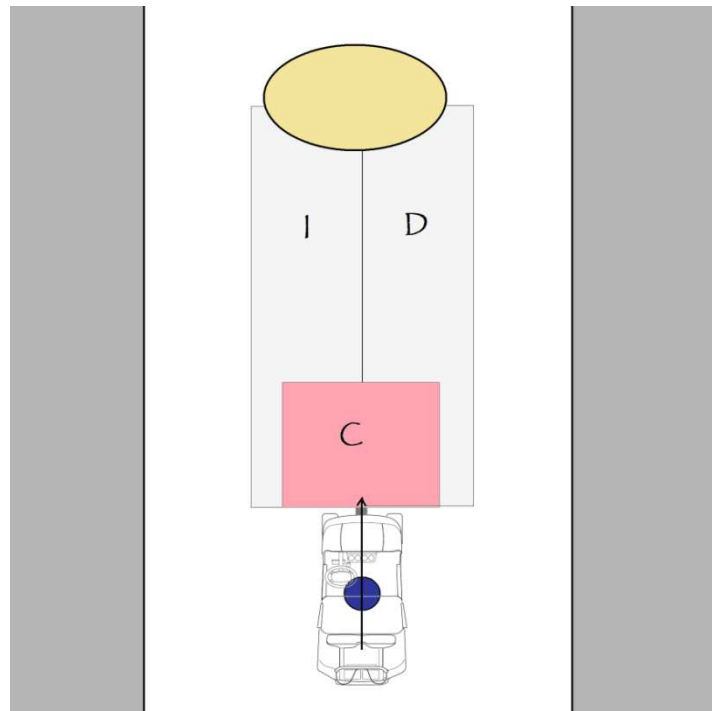


Figura 72: Caso 6. Detección de obstáculo en zonas derecha e izquierda 3

5-. Se repite el algoritmo (2-5) hasta llegar al último punto del recorrido.

5.4 Manuales de las Clases

5.4.1 Manual Clase Utm

La clase Utm contiene 3 funciones:

- `long double * getutm(long double latitud, long double longitud);`

Devuelve las coordenadas UTM de un punto introducido en coordenadas geográficas (latitud, longitud). Para ello se usan las fórmulas de Cotchia-Surace y el elipsoide W84.

- `long double getdist(long double, long double, long double, long double);`

A partir de la latitud y la longitud de 2 puntos dados (lat1, long1, lat2, long2) obtiene la distancia entre ellos. Internamente pasa las coordenadas a UTM, obteniendo después la distancia.

- `long double getang(long double, long double, long double, long double);`

A partir de la latitud y la longitud de 2 puntos dados (lat1, long1, lat2, long2) obtiene la dirección para ir de un punto a otro siendo 0° el Norte. Internamente pasa las coordenadas a UTM, obteniendo después el ángulo.

5.4.2 Manual de la Clase Coche

Esta clase permite enviar y recibir instrucciones al coche. La comunicación se realiza mediante un puerto serie. Para conectarlo al ordenador hay un convertidor serie-usb. Hay que tener instalado en el ordenador los drivers de este convertidor. Una vez conectado el PC al iCab se pueden enviar y recibir comandos.

Las funciones implementadas son las siguientes:

- `char * AbrirComDireccion();`

Abre el puerto serie de la dirección. En principio es el COM4. Si cambia habría que modificarlo en coche.cpp. La configuración predeterminada es baudrate=19200, tamaño del byte=8, sin paridad, un bit de parada.

- `char * AbrirComTraccion();`

Abre el puerto serie de la tracción COM3. Si cambia habría que modificarlo en coche.cpp. La configuración predeterminada es baudrate=19200, tamaño del byte=8, sin paridad, un bit de parada.

- `char * CerrarComDireccion();`

Cierra el puerto serie dirección.

- `char * CerrarComTraccion();`

Cierra el puerto serie de la tracción.

- `char * escribirvel(int);`

Escribe una velocidad en el puerto de tracción. El iCab se mueve a la velocidad introducida. Acepta valores entre -400 a -30 y 30 a 400. En cm/s.

- `char * escribirvelgiro(int);`

Escribe en el puerto de dirección la velocidad a la que girarán las ruedas. De 0 a 100%. Recomendado entre 20 y 80%.

- `char * escribirang(int);`

Escribe en el puerto de dirección el ángulo de giro de las ruedas. Hay que introducir un valor entre +-0000 a 4500. (entre -45 y 45°).

- `char * escribirdireccion(string);`

Escribe una orden en el puerto de la dirección.

- `char * escribirtraccion(string);`

Escribe una orden en el puerto de la tracción.

- `int avanzar(int);`

Avanza a la velocidad indicada por el parámetro. Para ello abre un nuevo hilo y manda la instrucción escribirvel cada 2 segundos, ya que si mientras el iCab se está moviendo y no recibe una instrucción en 2 segundos se parará por seguridad. Con esta instrucción no hace falta estar enviando la instrucción cada 2 segundos.

- `int girar(int,int);`

Gira con un ángulo y velocidad introducida por los parámetros.

- `int nogirar(int);`

Lleva las ruedas al centro a una velocidad establecida por parámetro.

- `int parar();`

Para el iCab.

- `int paradaemergencia();`

Activa el comando de parada de emergencia.

Capítulo 6: Aplicaciones

6.1 Control del iCab mediante el mando de la Wii

Una de las aplicaciones realizadas en el iCab, es moverlo con un control remoto. Para ello se disponía de un mando inalámbrico de la videoconsola Nintendo Wii. Este mando se comunica con la consola mediante bluetooth y este sistema de conexión se intentó utilizar para comunicar el mando con un PC. Para conectar el mando a un PC se ha usado la clase de C++ Wiimote. Esta clase nos permite obtener toda la información que genera el mando (teclas pulsadas, acelerómetros...), así como enviarle comandos para controlar la vibración y las luces que tiene este.

6.1.1 Mando de la Wii (wiimote)

El Wii Remote, conocido como Wiimote, es el mando principal de la videoconsola de Nintendo Wii. Es un mando wireless que usa la tecnología bluetooth para comunicarse con la Wii. Usa el protocolo estándar de bluetooth HID para comunicarse [24]. Cuando consultamos el dispositivo mediante bluetooth nos manda la siguiente información:

Name	Nintendo RVL-CNT-01
Vendor ID	0x057e
Product ID	0x0306
Major Device Class	1280
Minor Device Class	4
Service Class	0
(Summary of all Class Values)	0x002504

Tabla 52: Información enviada por el mando de la videoconsola de Nintendo Wii



Figura 73: *Mando de la videoconsola Wii*

Características:

- -Memoria EEPROM de 16KB
- -11 botones: 'A', 'B', 4 teclas de dirección, '+', '-', 'Home', '1', '2' y el botón de encendido.
- 1 botón en la parte trasera: 'B'
- Acelerómetro lineal en los 3 ejes. ADXL330. Mide aceleraciones de -3g,3g con una sensibilidad del 10%
- Cámara de infrarrojos de 128x96 que detecta a donde apunta el mando mediante una barra de leds que se suele colocar encima del televisor.
- 4 leds
- Vibrador
- Altavoz.

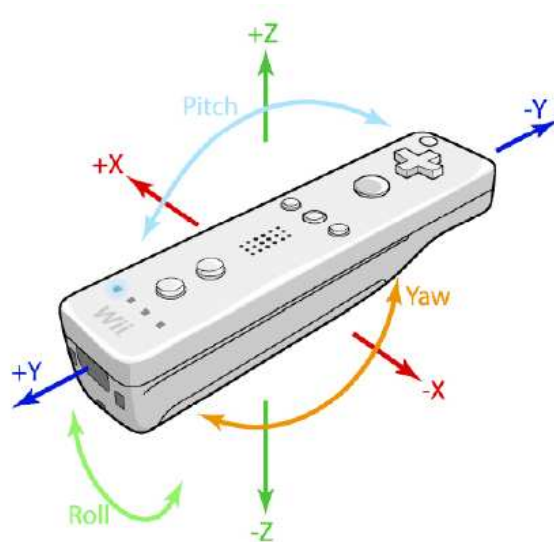


Figura 74: *Ejes y orientaciones del wiimote*

Mediante la librería Wiimote se conecta el mando al PC y detectamos los eventos que este produce. Podemos detectar cuando se pulsa cualquiera de las 10 teclas así como conocer la orientación del mando. Mediante los acelerómetros podemos obtener el Roll y el Pitch. Como tenemos un gran abanico de posibilidades, se han programado 3 maneras diferentes de manejar el iCab por medio del mando.

6.1.2 Conexión del mando al PC.

Lo primero que debemos hacer es buscar con el PC los dispositivos bluetooth disponibles. Para ello hay que contar con un PC con bluetooth o instalarle un dispositivo de bluetooth externo. Seguidamente al buscarlo aparecerá el dispositivo Nintendo al que nos conectaremos. Es recomendable tener la aplicación Blue Soleil (gestor de conexiones bluetooth) ya que si no puede dar muchos problemas e incluso no funcionar correctamente. Una vez conectado el Wiimote con el PC añadiremos la librería wiimote y la clase wiimote a nuestro código. Usando las funciones contenidas en wiimote se podrá programar el mando [25], [26], [27].

6.1.3 Modos de funcionamiento

MODO DE FUNCIONAMIENTO 1

En el modo 1 se maneja el iCab mediante las teclas del mando Wiimote sin usar los acelerómetros. Para seleccionar el modo 1, una vez que ejecutamos el programa mando 1.4 (teniendo previamente el mando conectado al PC) pulsamos el botón 1 hasta que se encienda la luz 1.

Para salir del programa en cualquier momento se pulsa el botón Home.

Por seguridad, en todos los modos para que el coche se mueva habrá que mantener pulsado el botón de la parte trasera del mando 'B'. Con el pulsado y estando en el modo 1:

TECLA	FUNCIÓN
Arriba	Al pulsarla el coche empieza avanzar hacia adelante a la velocidad mínima. Si estamos yendo marcha atrás, al pulsarla el coche se parará
Abajo	Si estamos parados o moviéndonos marcha atrás el coche se mueve hacia atrás a la velocidad mínima.
Izquierda	El coche gira a la derecha
Derecha	El coche gira a la izquierda
+	El coche se detiene y las ruedas se centran
-	El coche reduce la velocidad, tanto si va hacia delante como hacia atrás.
A	El coche acelera, tanto si va hacia delante como hacia atrás.
B	Debe de estar pulsado en todo momento para que el coche se mueva. Si se suelta el coche se para.
Home	Detiene el coche, centra las ruedas y cierra el programa.
1	Nada
2	Manteniéndolo pulsado se cambia al modo de funcionamiento 2
1 y 2	Pulsando los botones 1 y 2 simultáneamente, cambiamos al modo de funcionamiento 3.

Tabla 53: Manejo del iCab mediante el mando de la Wii en el modo de funcionamiento 1

MODO DE FUNCIONAMIENTO 2

En el modo de funcionamiento 2 se usan los acelerómetros para saber la posición del mando y dependiendo de la orientación el iCab se mueve.

TECLA	FUNCIÓN
Arriba	Nada
Abajo	Nada
Izquierda	Nada
Derecha	Nada
+	Se leen los errores del coche.
-	Nada
A	El coche se para
B	Debe de estar pulsado en todo momento para que el coche se mueva. Si se suelta el coche se para.
Home	Detiene el coche, centra las ruedas y cierra el programa.
1	Manteniéndolo pulsado se cambia al modo de funcionamiento 1
2	Nada
1 y 2	Pulsando los botones 1 y 2 simultáneamente, cambiamos al modo de funcionamiento 3.

Tabla 54: Manejo del iCab mediante el mando de la Wii en el modo de funcionamiento 2

La tracción se controla con el Pitch.

La dirección se controla con el Roll.

MODO DE FUNCIONAMIENTO 3

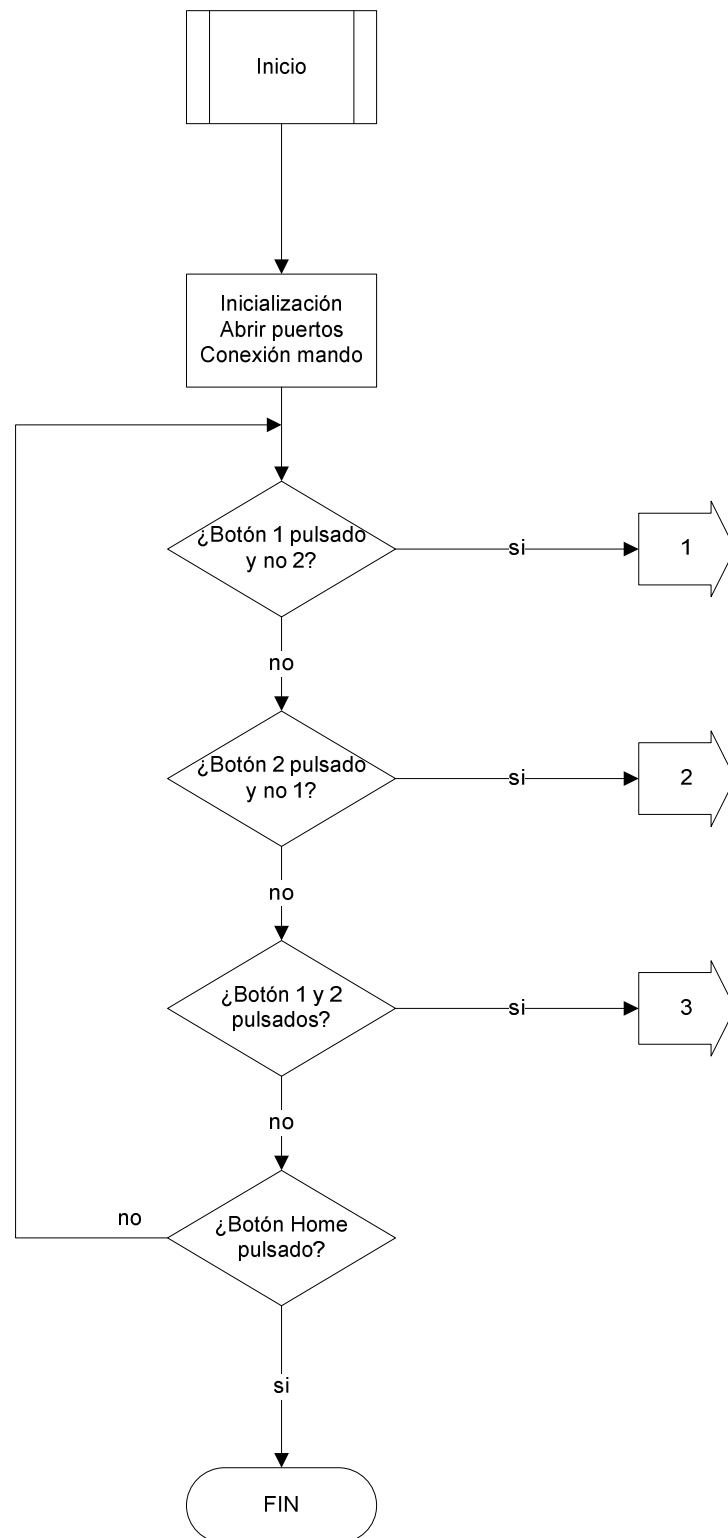
Este modo de funcionamiento es semejante al de videojuego de Nintendo Mario Kart.

Para mover el iCab se usa una mezcla de teclas y movimiento del mando.

El giro se controla mediante el Pitch.

TECLA	FUNCIÓN
Arriba	Nada
Abajo	Nada
Izquierda	Retrocede a la velocidad mínima. Si está avanzando se detiene.
Derecha	Avanza a la velocidad mínima. Si va marcha atrás se para.
+	Se leen los errores del coche.
-	Nada
A	El coche se para
B	Debe de estar pulsado en todo momento para que el coche se mueva. Si se suelta el coche se para.
Home	Detiene el coche, centra las ruedas y cierra el programa.
1	Frena, tanto si está avanzando como si está retrocediendo.
2	Acelera, tanto si está avanzando como retrocediendo.
1, +, -	Pulsando los botones '1', '+', '-' simultáneamente, cambiamos al modo de funcionamiento 1.
2, +, -	Pulsando los botones '2', '+', '-' simultáneamente, cambiamos al modo de funcionamiento 2.

Tabla 55: Manejo del iCab mediante el mando de la Wii en el modo de funcionamiento 3

DIAGRAMA DE FLUJO**Diagrama 2:** *Diagrama de flujo de wiimote*

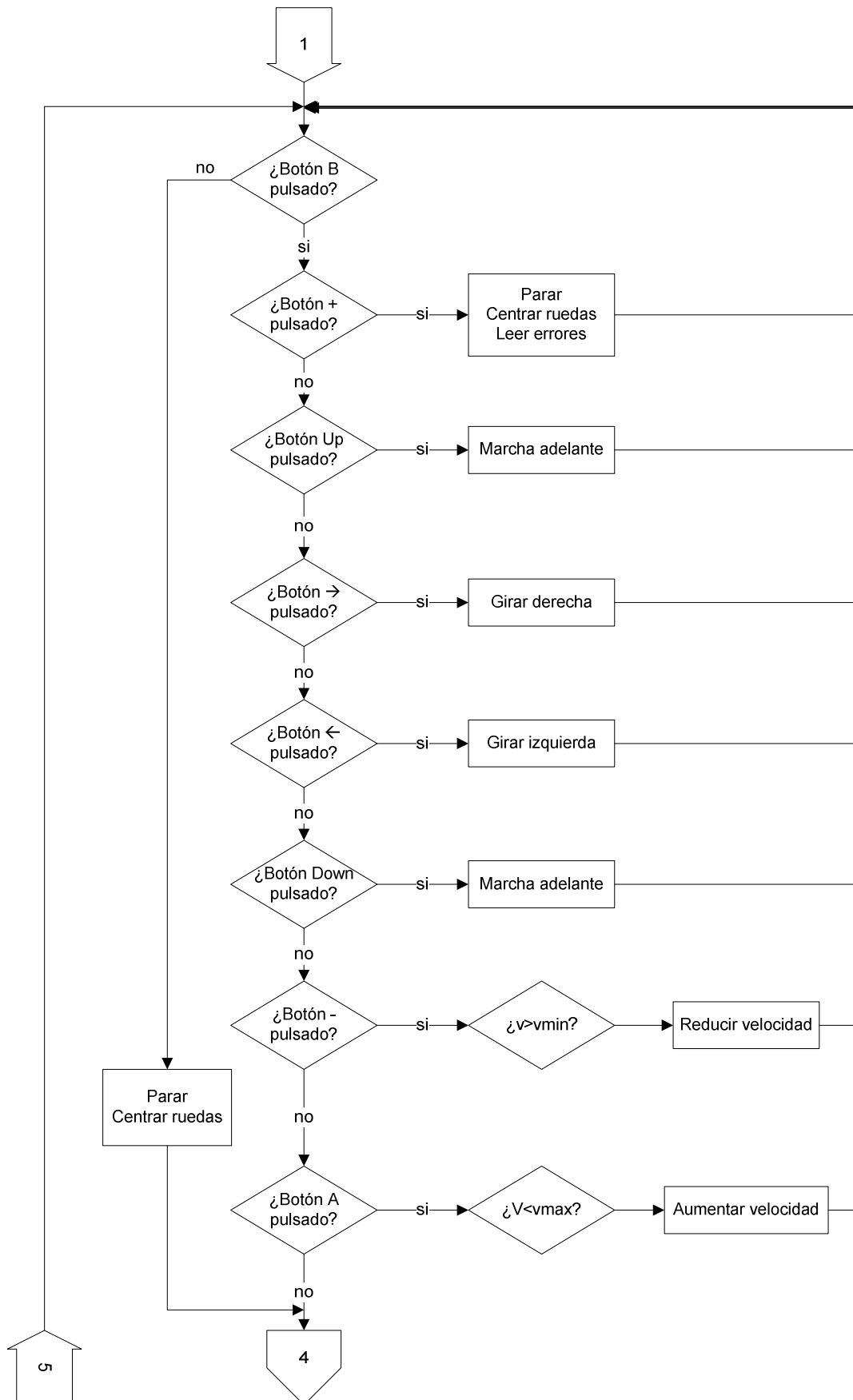


Diagrama 3: Diagrama de flujo de wiimote

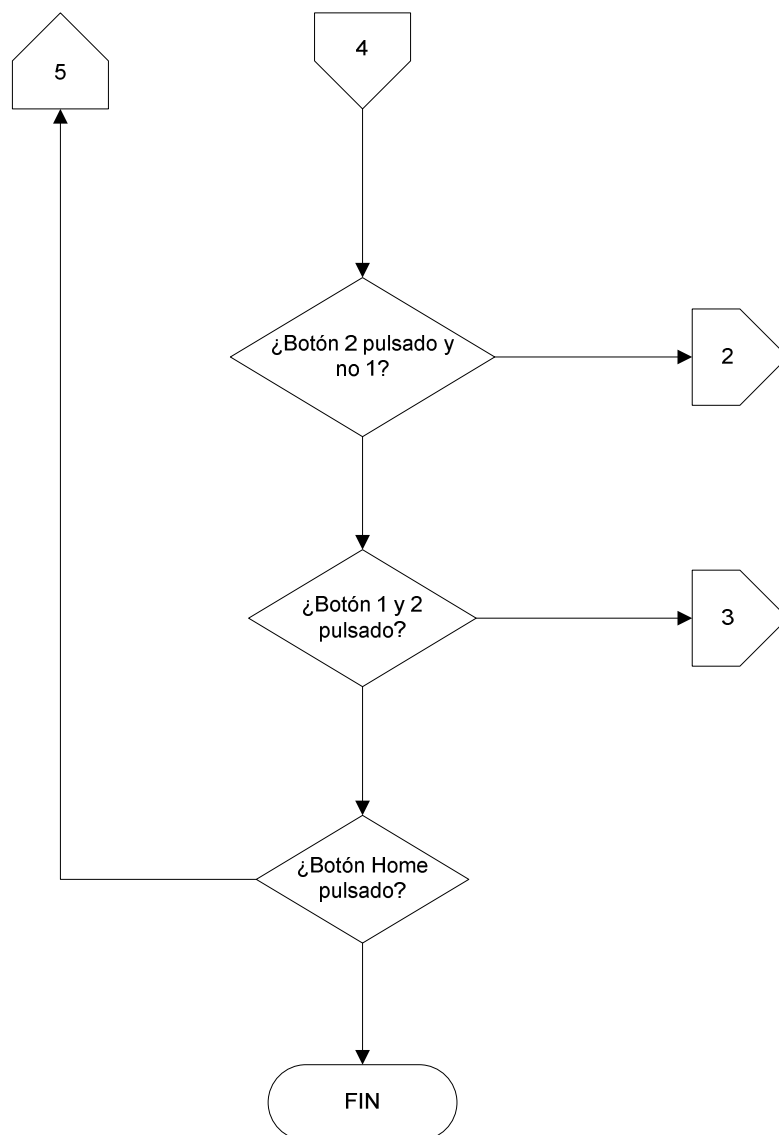


Diagrama 4: *Diagrama de flujo de wiimote*

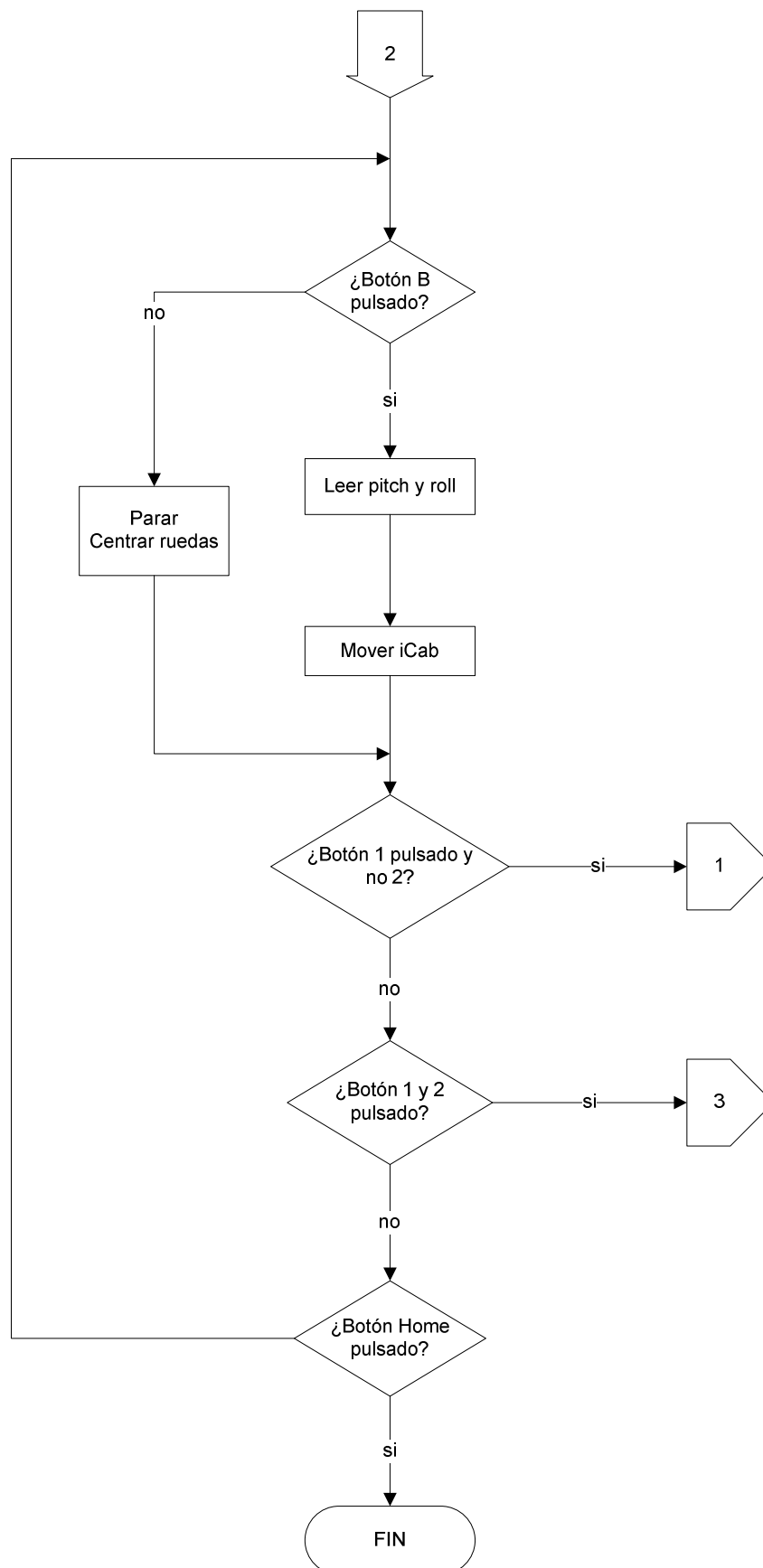
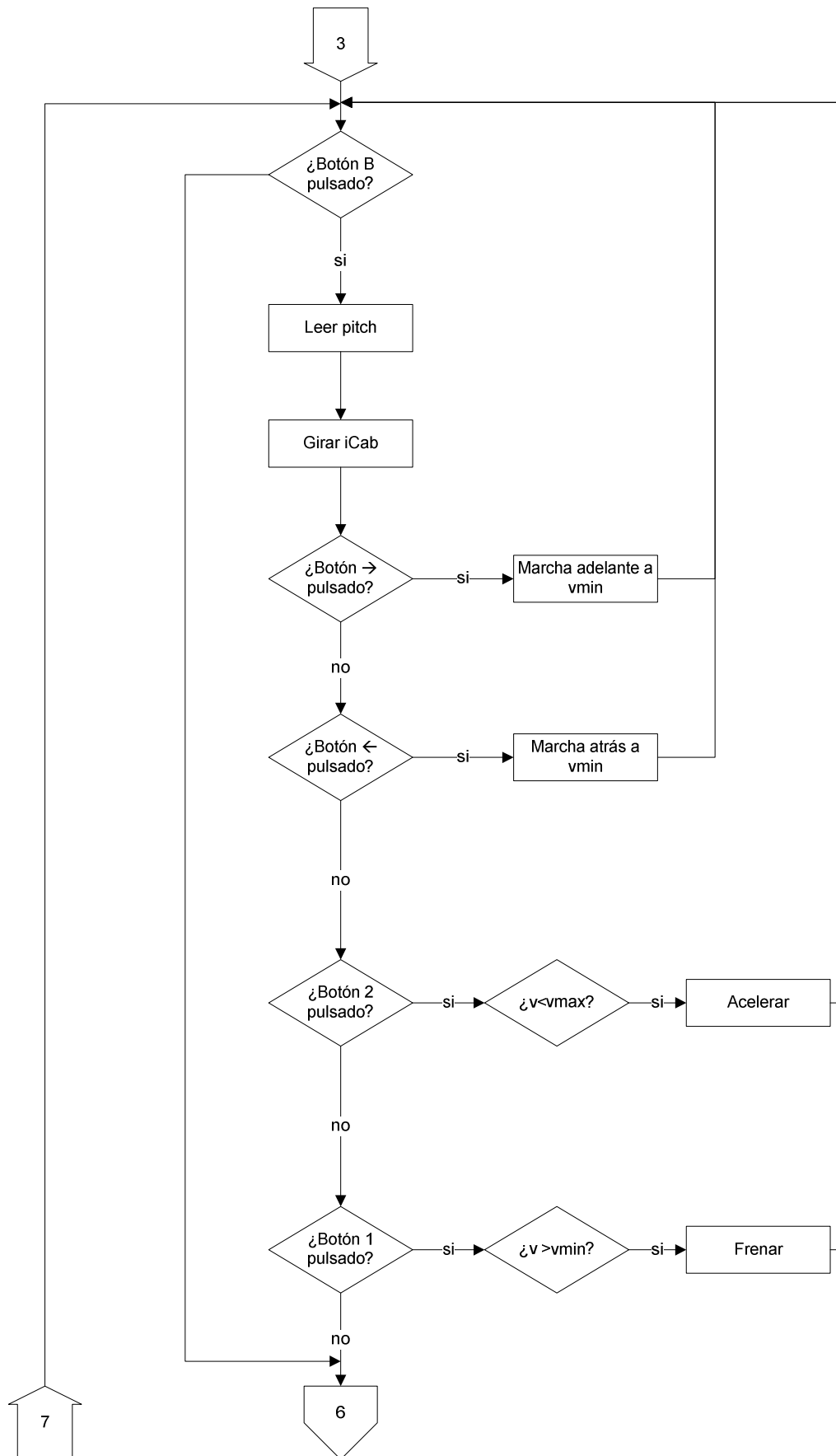


Diagrama 5: Diagrama de flujo de wiimote

**Diagrama 6:** Diagrama de flujo de wiimote

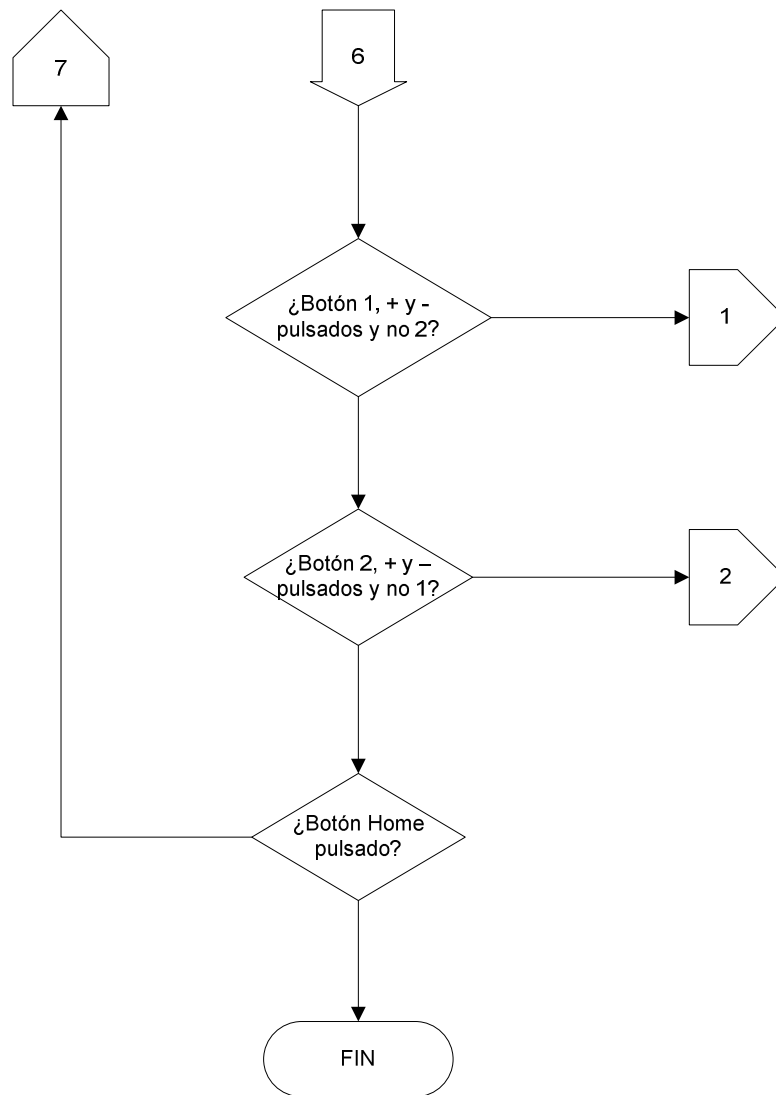


Diagrama 7: *Diagrama de flujo de wiimote*

6.2 Control del iCab mediante teclado

Otra aplicación que se ha instalado en el iCab es el manejo mediante el teclado de un PC. Usando la clase Coche se ha programado un código que captura las teclas pulsadas y mueve el carrito como lo hacen los juegos de coches. Se pueden definir varios parámetros del funcionamiento del iCab como son:

- Velocidad máxima de avance
- Velocidad máxima de retroceso
- Ángulo de giro máximo de las ruedas
- Velocidad de giro de las ruedas
- Aceleración del iCab



Figura 75: Teclado PC. Teclas usadas para controlar el iCab

TECLA	FUNCIÓN
Esc	Detiene el coche y cierra el programa
T	Si se mueve hacia atrás se para. Si está parado acelera hacia adelante. Cada vez que detecta la tecla pulsada aumenta la velocidad.
G	Si se mueve hacia adelante se para. Si está parado acelera hacia atrás. Cada vez que detecta la tecla pulsada aumenta la velocidad.
F	Gira hacia la izquierda.
H	Gira hacia la derecha.
Espacio	Detiene el coche y centra las ruedas.

Tabla 56: Manejo del iCab mediante el teclado

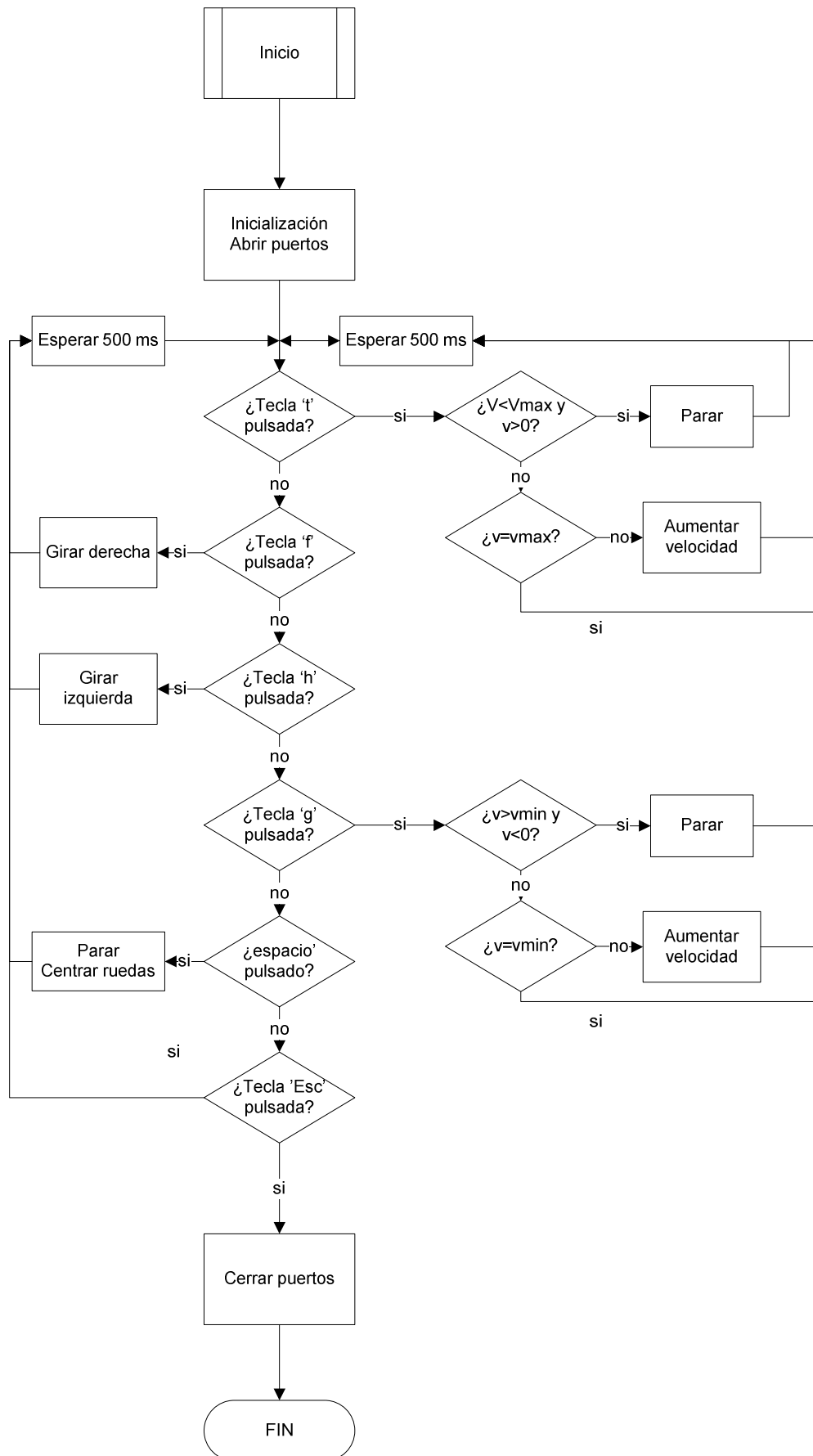


Diagrama 8: Diagrama de flujo del control por teclado

6.3 Visor GPS

Otra aplicación que se ha desarrollado es un visor de GPS. Es similar al programa que viene instalado en los GPS comerciales. El programa nos muestra por pantalla el plano del Campus y la localización del iCab. También se muestra la orientación que tiene el iCab en cada instante.

Dado que el plano del campus era bastante grande y si se reducía para que entrara todo en la pantalla, se perdía detalle, el programa muestra una parte del mapa centrado en la posición del iCab.

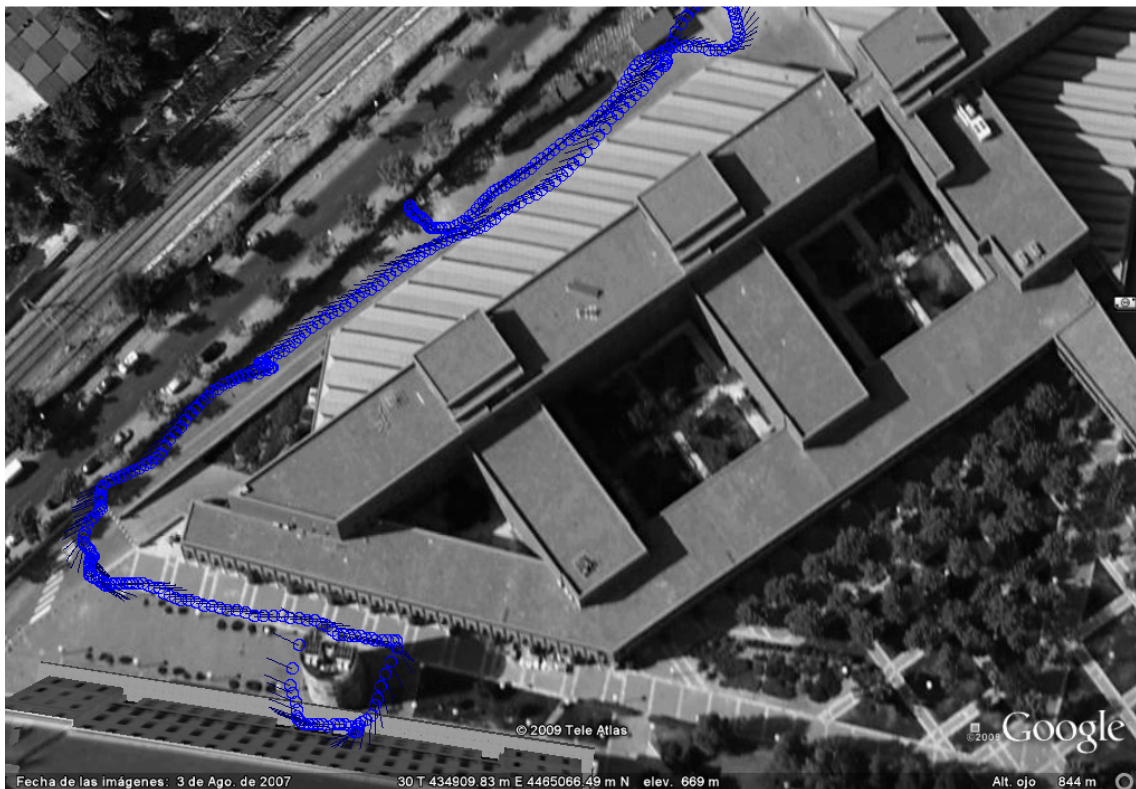


Figura 76: Imagen sacada de la aplicación visor donde se ven todos los puntos por los que ha pasado el iCab

Así mismo este programa guarda en un fichero de texto multitud de datos recogidos por el MTi-G y por el iCab:

- Posición en latitud, longitud, altura
- Orientación del MTi-G (roll, pitch, yaw)

- Velocidad en x, y, z y módulo de la velocidad.
- Aceleración en x, y, y z.
- Velocidad angular
- Magnetismo en los 3 ejes
- Velocidad (dada por el iCab)
- Espacio recorrido (dado por el iCab)

En la figura 77 se puede observar una captura del programa visor. En él se ve en azul un círculo que indica la posición en la que se encuentra el iCab y una línea que indica la dirección que lleva.



Figura 77: *Captura de una imagen sacada del programa visor.*

Capítulo 7: Conclusiones y trabajos futuros

Debido a las múltiples averías que ha tenido el iCab, este proyecto no se ha podido probar en su totalidad. Se han ido probando las diferentes partes del proyecto y comprobando su buen funcionamiento pero falta unir todo y empezar a calibrar para que el iCab pueda empezar a moverse de forma autónoma.

Con todo este proyecto funcionando correctamente, se espera que el iCab pueda ir de un punto a otro del campus sin intervención humana pero en situaciones “simples”. No tiene en cuenta una multitud de circunstancias que pueden verse normalmente en una situación normal, esa inteligencia queda para proyectos futuros en los que el iCab deberá decidir qué hacer en cada situación de las que se encuentre.

Uno de los mayores problemas al realizar el proyecto fue la precisión del GPS. Fue bastante peor de lo que se esperaba ya que esperábamos una precisión de 2 o 3 metros y al probarlo nos encontramos con que el error podía ser de 15 e incluso 20 metros en algún momento. La mayoría de las veces el error es menor y ronda los 3 o 4 metros pero no podemos basar el programa exclusivamente (como se pensó en un principio) en la posición obtenida por el GPS ya que lo que debe primar en un vehículo es la seguridad y un error de 15 metros puede suponer un accidente.

Es de esperar que la precisión de los GPS vaya aumentando (ya hay en el mercado DGPS con precisiones menores que 1 metro) y con el nuevo Sistema Galileo también habrá mejor precisión. Con un error de menos de un metro el primer software que se confeccionó para el iCab basado en lógica difusa debería funcionar bastante bien. Habría que calibrar las velocidades y ángulos de giro pero el iCab debería ser capaz de llegar de un punto a otro siguiendo una trayectoria de forma muy precisa (este software no tiene en cuenta los obstáculos).

Para la detección y clasificación de obstáculos sería conveniente instalar cámaras para dotarlo de visión artificial. Esto permitiría detectar personas, árboles, bancos... que fusionado con el láser aportaría bastante información del entorno en el que se mueve el iCab. El GPS servirá para saber la zona donde se encuentra el iCab y el láser y las cámaras serán los principales sensores por los que se guiará. Si se mejora la precisión

del GPS éste irá teniendo más influencia ya que se podrá saber con más exactitud la posición en la que se encuentra y con solo su información el iCab será capaz de esquivar edificios y obstáculos que se hayan metido en el mapa.

Como aplicación final para el usuario podría controlarse el iCab mediante una pequeña pantalla táctil. En ella podrían aparecer iconos con los distintos sitios a donde puede llegar el iCab (biblioteca, auditorio, edificio Sabatini,...) y el usuario tan solo tendría que seleccionar el sitio al que desea ir. A partir de ahí el iCab se desplazaría de forma autónoma hasta llegar al sitio indicado. Otra posible interfaz puede ser mostrar en la pantalla el mapa del campus de Leganés y el usuario tendría que pinchar en el sitio al que desea llegar. En el programa se guarda la coordenada seleccionada por el usuario y el iCab se dirige hacia ella.

Capítulo 8: Presupuesto

En este apartado se van a realizar dos presupuestos. Por un lado el presupuesto que le ha costado a la escuela el desarrollo del proyecto iCab hasta la actualidad. Por otro lado se elaborará el presupuesto que le supondría a una empresa privada si quisiera desarrollar este mismo proyecto.

8.1 Presupuesto escuela

CONCEPTO	PRECIO (€)
Coche eléctrico (segunda mano)	2.200
Material (componentes, placas...)	4.000
Láser Sick	3.500
GPS MTi-G Xsens	3.800
Ordenador	400
Pantalla táctil	357
Mando wii	40
Adaptador bluetooth	10
Inversor 100W	600
TOTAL	14.907

Tabla 57: Presupuesto escuela

Total iCab1= 14.907 €

8.2 Presupuesto empresa

Si este proyecto fuera desarrollado en una empresa, además de lo anterior hay que añadir los sueldos de las personas que han trabajado en él, impuestos y alquiler de la nave donde se desarrolla el proyecto. Se ha establecido un salario de 14 pagas de 1600 euros para los ingenieros superiores y de 1400 euros para los ingenieros técnicos. A esto habrá que sumar los impuestos que debe pagar la empresa. Normalmente a la empresa,

un trabajador le cuesta 1,5 veces su nómina. El alquiler de una nave para poder desarrollar el proyecto se puede conseguir por 1500 euros.

En el proyecto han trabajado:

- 2 ingenieros técnicos durante un año
- 3 ingenieros superiores durante 8 meses
- 1 ingeniero superior durante 7 meses

Sueldo ingenieros técnicos

1 ingenieros x 14 pagas x 1400 euros x 1.5 = 58.800 €

Sueldo ing superiores:

31 meses x 14pagas/12meses x 1600 euros x 1.5 = 86.800 €

Alquiler del local

1500 €/mes x 24 meses = 36.000 €

CONCEPTO	PRECIO (€)
Coche eléctrico (segunda mano)	2.200
Material (componentes, placas...)	4.000
Láser Sick	3.500
GPS MTi-G Xsens	3.800
Ordenador	400
Pantalla táctil	357
Mando wii	40
Adaptador bluetooth	10
Inversor	600
Sueldo ing. Técnicos	58.800
Sueldo ing. Superiores	86.800
Alquiler local	36.000
TOTAL	196.507

Tabla 58: Presupuesto empresa

Total empresa = 196.507 €

BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS

- [1]. CityMovil (2009). Página web. www.citymobil-project.eu
- [2]. Proyecto Autopía (CSIC, 2009). Página web.
<http://www.iai.csic.es/users/autopia/>
- [3]. DARPA (2009). Página web. <http://www.darpa.mil>
- [4]. Sistemas de coordenadas (2009). Página web.
http://truephonemadness.com/teoria/sistemas_de_coordenadas.htm
- [5]. Las coordenadas geográficas (2009). Página web.
http://www.aularagon.org/files/espa/Atlas/longlatitud_index.htm
- [6]. ALONSO FERNÁNDEZ, Ignacio: *Localizaciones geográficas. Las coordenadas geográficas y la proyección UTM*. Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias. Universidad de Valladolid. Página web.
<http://www.cartesia.org/data/apuntes/cartografia/cartografia-geograficas-utm-datum.pdf>
- [7]. Gabriel Ortiz. Convertir coordenadas geográficas en UTM (2009). Página web.
<http://www.gabrielortiz.com/index.asp?Info=058a>
- [8]. Trimble How GPS Works (2009). Página web.
<http://www.elgps.com/documentos/comofuncionagps/comofuncionagps.html>
- [9]. European Space Agency (ESA 2009). Página web.
http://www.esa.int/esaNA/GGGMX650NDC_galileo_0.html
- [10]. GALILEO (2009). Página web.
http://esamultimedia.esa.int/docs/galileo/GalileoE3web_copy.pdf
- [11]. Comisión Europea (2009). Página web.
http://ec.europa.eu/transport/galileo/index_en.htm
- [12]. Manual de Usuario del MTi-G de Xsens. Documento: MT0137P. Febrero 2009.
- [13]. FELIZ, Raul; ZALAMA, Eduardo; y otros: *Estimación de posición de viandantes mediante sensores inerciales*. FIT-340000-2007-169. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Convocatoria profit 2007.
- [14]. Lógica borrosa (2009). Página web.
http://www.cervantesvirtual.com/servlet/SirveObras/public/01305008611682844756802/014462_3.pdf

- [15]. Conceptos fundamentales de lógica difusa (2009). Página web.
http://www.tesisenxarxa.net/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-0207105-105056//04Rpp04de11.pdf
- [16]. Fundamentos de lógica difusa (2009). Página web.
www.itq.edu.mx/vidatec/espacio/aiee/fuzzy.ppt
- [17]. Tutorial de Matlab 2009 de lógica difusa: *What is fuzzy logic?* (2009)
- [18]. Centro nacional de microelectrónica. Software Xfuzzy 3.0 (2009). Página web.
<http://www2.imse-cnm.csic.es/Xfuzzy/>
- [19]. Tutorial Xfuzzy 3.0 (2009). Página web.
http://www.cs.umss.edu.bo/doc/material/mat_gral_37/TUTORIALxfuzzy.pdf
- [20] GARCÍA FERNÁNDEZ, Fernando. Tesis de Máster Oficial en Robótica y Automatización: *Detección y clasificación de obstáculos en entornos viarios mediante radar láser*. Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática. Universidad Carlos III de Madrid. Mayo 2009.
- [21] PORTALATÍN GINÉS, Pedro. Tesis de Máster Oficial en Robótica y Automatización: *iCab. Automatización de un vehículo eléctrico. Diseño Hardware*. Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática. Universidad Carlos III de Madrid. Julio 2009
- [22]. HIDALGO FIESTAS, Juanma. Tesis de Máster Oficial en Robótica y Automatización: *iCab. Automatización de un vehículo eléctrico. Mecánica y Software*. Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática. Universidad Carlos III de Madrid. Julio 2009
- [23] MARTÍNEZ ROCA, Jesús; LARA SÁNCHEZ, Gerardo; ANAYA CATALÁN, José Javier. Trabajo dirigido: Sistema de dirección del vehículo auto tripulado iCab. Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática. Universidad Carlos III de Madrid. Junio 2009
- [24]. Wiibrew (2009). Página web. <http://wiibrew.org/wiki/Wiimote>
- [25]. Control de mando Wiimote mediante PC (2009). Página web.
<http://wii.scenebeta.com/tutorial/controlar-tu-pc-con-el-mando-de-wii-wimote>
- [26]. Librería Wiimote C++ (2009). Página web.
<http://wiimote-spacial-locator.googlecode.com/svn/trunk/WiimoteDriver/>
- [27]. Wiimote Windows (2009). Página web
http://www.iearobotics.com/wiki/index.php?title=Wiimote_windows